



## **Botesam og snegleboring**

### **Sammenlignende undersøgelser**

**Sørensen, Kurt; Hinsby, Klaus; Kjeldsen, Peter**

*Publication date:*  
1991

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Sørensen, K., Hinsby, K., & Kjeldsen, P. (1991). *Botesam og snegleboring: Sammenlignende undersøgelser*. Lossepladsprojektet. Rapport No. H7

---

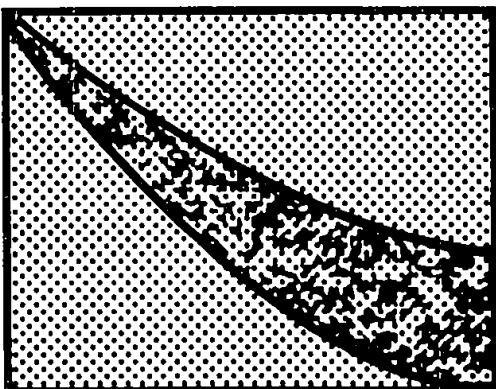
#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**Kurt Sørensen, Laboratoriet for Geofysik, Århus Universitet  
Klaus Hinsby, Danmarks Geologiske Undersøgelse  
Peter Kjeldsen, Lossepladsprojektets sekretariat/ Laboratoriet for  
teknisk Hygiejne, DTH**



**BOTESAM OG SNEGLEBORING:  
Sammenlignende Undersøgelser**

**RAPPORT H7      OKTOBER 1991**

**LOSSEPLADSPROJEKTET**

*Publikationen kan købes i  
boghandelen eller hos*

**STATENS INFORMATION**  
Postboks 1103, 1009 København K



trykt på genbrugspapir  
Slougaard Jensen/København

# FORORD

Denne rapport er resultatet af projekt H7 gennemført under Lossepladsprojektet. Projektet er et samarbejdsprojekt mellem Danmarks Geologiske Undersøgelse, Laboratoriet for Geofysik, Århus Universitet og Lossepladsprojektets sekretariat.

I forbindelse med projektets færdiggørelse skal rettes en varm tak til Erik V. Clausen, Hans Jensen og Niels Christian Christiansen fra Hydrogeologisk afdeling, DGU.

Peter Kjeldsen

Lossepladsprojektet

# SAMMENFATNING

Inden for de seneste år er der fremkommet to alternative boremetoder, BOTESAM og hul snegleboring (med integreret el-logging). Ved brug af disse boremetoder er det vigtigt at vide i hvor høj grad de opnåede resultater afhænger af den benyttede boremetode.

Med henblik på at sammenligne diverse logs og test gennemført med de to metoder, etableredes et antal boringer ved tre lokaliteter i tilknytning til Vejen Injektionsfelt. Ved de tre lokaliteter gennemførtes der sammenligninger af 2" og 4"- snegle el-logs samt ramme el-logs udført med nyudviklede rammetools. Desuden sammenlignedes målinger af hydraulisk ledningsevne gennemført vha. slugtest og separations-injektions-test i filtersatte boringer etableret i både ramme- og snegleborede huller.

Resultater viste at det var muligt at gennemføre el-logs i forbindelse med rammeboring og at resultaterne stemte godt overens med resultater fra "traditionelle" el-logs udført med snegleboreteknik. En sammenligning viste ,at 4"-snegle el-logs gav lavere modstande end 2" snegle-el-logs og ramme-el-logs, sandsynligvis pga. 4"-sondens større diameter.

De gennemførte hydrauliske sammenligninger viste at der var god overensstemmelse mellem den hydrauliske ledningsevne bestemt ved slugtest og SIT-test i snegleboringerne. Sammenligningerne viste desuden at slugtest i BOTESAM-boringer generelt gav for lave værdier, hvilket formentlig skyldes en uhensigtsmæssig opbygning af de benyttede filterspidser. Hydraulisk ledningsevne målt i snegleborede huller var dog generelt endnu lavere, når der optrådte ler/silt i boreprofilet. Dette skyldes formentlig at sneglen afsatte ler og silt på borehullets vægge.

# SUMMARY

Sørensen, K.; Hinsby, K. & Kjeldsen, P.(1991): BOTESAM and hollow stem augering: Comparative investigations. Report H7, Lossepladsprojektet:

Two alternative drilling methods, the BOTESAM ramming method and hollow stem augering (with an integrated electric logging tool) have recently been presented in Denmark. Questions on the comparability of results obtained from the two methods have been raised.

In order to compare logs and tests carried out by the two methods, several test drillings were established at three locations in the vicinity of Vejen Injections Site. At the three locations the 2 and the 4 inch hollow stem electric log were compared with a new developed electric log integrated with the BOTESAM method. Also measurements of hydraulic conductivity carried out by slug tests and separation injection tests in wells established by both BOTESAM and hollow stem augering were compared.

The results showed that there where good comparison between electric logs carried out by the two methods. The results from the 4 inch hollow stem electric log showed lower electric resistances than the 2 inch log and the BOTESAM log. This was probably due to the bigger diameter of the 4 inch tool.

Good comparison between hydraulic conductivities from the slug test and the separation injection test was observed. The comparisons showed also that slug testing BOTESAM wells led to erroneously low values probably due to an inexpedient construction of the BOTESAM well screens. Hydraulic conductivities measured in hollow stem augered wells were also too low when the auger has penetrated layers of clay and silt. This was probably due to deposition of a clay or silt layer on the walls of the hole.

# INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING .....	1
2. BORETEKNIKKER .....	3
2.1 BOTESAM .....	3
2.2 SNEGLEBORING .....	5
3. ANVENDTE METODER TIL BESTEMMELSE AF DEN     HYDRAULISKE LEDNINGSEVNE .....	7
3.1 SLUGTEST .....	7
3.2 SEPARATIONS INJEKTIONS TEST .....	9
4. ELLOGMETODER .....	11
4.1 ELLOGBOREMETODEN .....	12
4.1.1 2"-Ellog teknik .....	13
4.1.2 4"-Ellog teknik .....	13
4.2 RAMMEELLOGMETODEN .....	14
5. UDFØRTE BORINGER OG FELTTESTS .....	15
6. RESULTATER OG DISKUSSION .....	19
6.1 SAMMENLIGNING AF MÅLINGER AF HYDRAULISK LEDNINGS- EVNE .....	19
6.2 SAMMENLIGNING AF ELLOGMETODER .....	23
6.3 KOMPakteringsundersøgelse ved rammeboring .....	27
7. KONKLUSION .....	33

# 1. INDLEDNING

Inden for de seneste år er der udviklet alternative boremetoder, der har til formål at levere præcise og relevante informationer på et realistisk omkostningsniveau. Blandt disse boremetoder er BOTESAM (Hinsby, 1990) og boring med hul snegl. Fælles for dem begge er at der ikke opnås jordprøver til beskrivelse af jordlagenes geologi og hydrogeologi, begge metoder er afhængig af indirekte metoder (gammalog, el-log m.m.). De to metoder har stor relevans under geologiske forhold, som de danske, og kan dermed finde stor udbredelse i Danmark og andre steder med lignende geologi.

Ved gennemførelse af diverse felttests til belysning af geologiske og hydrogeologiske forhold er det vigtigt at vide i hvor høj grad de opnåede resultater afhænger af den benyttede bore- eller testmetode. Det er netop dette projekts formål at sammenligne en række felttest gennemført dels ved brug af rammeboreteknik dels ved snegleboreteknik. I projektet indgår således følgende delundersøgelser:

- udvikling af udstyr til el-logging med rammeboreteknik
- sammenligning af ramme-el-log med 2" og 4"-el-log udført med etableret teknik (snegleboring).
- sammenligning af 2"- og 4"-ellogs

El-logs har i de seneste år vist sig meget egnet til vurdering af jordlagenes sammensætning og en udvidelse af BOTESAM-konceptet med el-logs vil yderligere styrke BOTESAM's geologiske vurderingsevne.

Udover de rent geologiske informationer som ovennævnte undersøgelser kan give, er der ofte behov for hydrogeologiske informationer, f.eks. i form af viden om jordlagenes hydrauliske ledningsevne. Viden om den hydrauliske ledningsevne kan opnås bl.a. ved gennemførelse af slugtest eller separations-injektions-test (SIT-test). For at sammenligne disse tests er der gennemført følgende delundersøgelser:



- sammenligning af slugtest gennemført i BOTESAM-borespidser og i filtersatte boringer
- sammenligning af hydraulisk ledningsevne opnået ved slugtest og separations-injektions-test.
- sammenligning af slugtest i filtre sat med rammeboreteknik og snegleboreteknik.

Ved nedramning af BOTESAM-spidsen sker der en fortrængning og dermed en kompaktion af materiale omkring spidsen. Denne kompaktion kunne betyde at slugtest gennemført i BOTESAM-spidsen vil give for lave resultater. Med henblik på at belyse dette, blev der gennemført el-logs med tre konfigurationer der gav tre forskellige indtrængningsdybder ind i formationen for loggen. Hvis kompaktionen af materiale omkring spidsen var begrænset til en relativ tynd skal omkring spidsen, vil de tre el-logs afvige fra hinanden.

Af de beskrevne delundersøgelser blev udvikling og sammenligning af el-log udstyr samt kompaktionsundersøgelsen gennemført af Kurt Sørensen, Lab. for Geofysik, mens de hydrauliske sammenligninger blev gennemført af Klaus Hinsby, DGU.

## 2. BORETEKNIKKER

### 2.1 BOTESAM

BOTESAM (BORing, TESting & SAMpling) er en metode udviklet på DGU (Larsen & Andersen, 1987; - Andersen, 1988; Hinsby, 1990) til hurtig og økonomisk kortlægning af grundvandsforurening fra både punktkilder og fladebelastninger i ukonsoliderede sandede grundvandsreservoirer. Metoden giver lokale lodrette profiler af vandkemi og hydraulisk ledningsevne samt forenkledede lithologiske log. Feltdata indhentes løbende under boreprocessen, og oplysninger herfra vedrørende strømningshastigheder, geologi og vandkemi danner grundlag for udtagning af vandprøver fra relevante niveauer til on-site- eller senere laboratorieanalyse. Ved Laboratoriet for Geofysik (AU) er der herudover nyligt udviklet en ellog-rammesonde til in-situ måling af den elektriske formationsmodstand under nedramningen af en BOTESAM-boring (se kap. 4.2). Elloggen giver i modsætning til gammaloggen mulighed for tolkning af den lithologiske lagfølge synkront med nedramningen. Dette er en fordel ved udvælgelse af hensigtsmæssige niveauer til udtagelse af vandprøver og udførelse af slugtest.

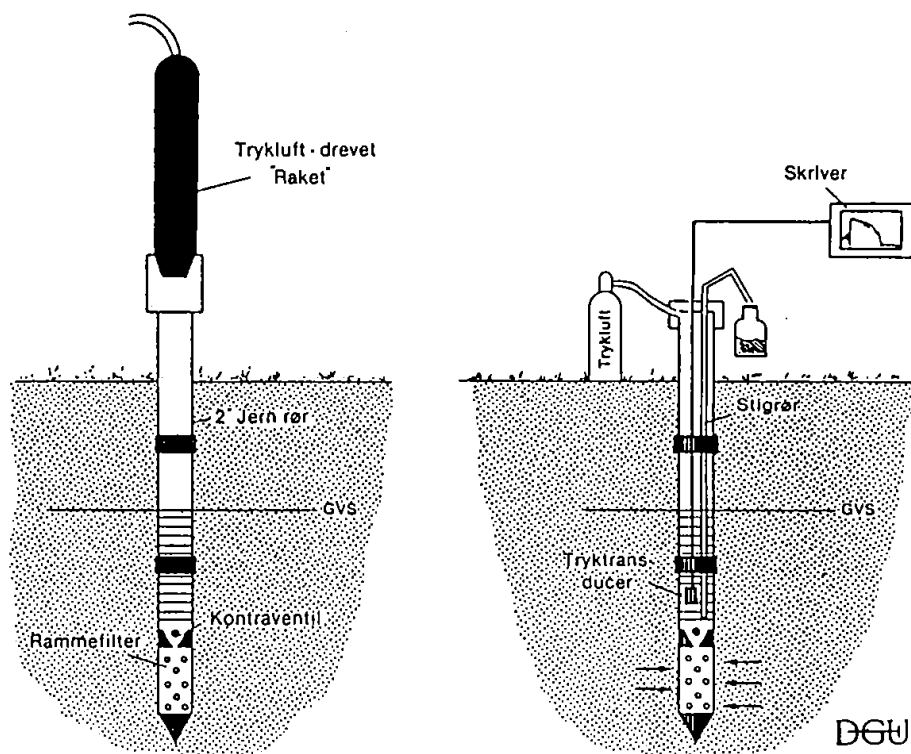


Fig. 2.1: Illustration af BOTESAM-proceduren. a) BORing (nedramning) b) TESTING og SAMpling (prøvetagning).

Botesam boringen etableres ved nedramning af et jernrør med filterspids under anvendelse af trykluft. Tryklufften tilvejebringes med en kompressor, der yder 2800 l/min, og slagene påføres borestammen med en "raket", der monteres på rørene v.h.j.a. en adapter (se figur 2.1). Der slås ca. 250 slag/min, hvilket giver en jævn nedramning. Rammetiden i sand er 1/2-2 m/min. I lerlag er rammetiden noget længere og metoden kan generelt ikke anbefales her. Det er dog lykkedes ved denne metode at gennembore lerlag på op til 5 m's tykkelse på nogle få timer, og ved modifikation af metoden er det vist, at den i visse tilfælde med fordel også kan anvendes i ler. I lossepladsprojekterne ved Vejen er der anvendt 2" sorte jernrør á 2 m's længde og en filterenhed på 0,60 m, hvoraf filterintervallet udgør ca. 0,46 m. Selve filteret udgøres af 40 cirkulære undersænkede filterøjne med en diameter på 13 mm - der er forsynet med et kobberfletværk med en porestørrelse på 0,3 mm. Over filterintervallet er der monteret en kontraventil i form af en Ø40 mm polyethylenkugle anbragt i et sæde. Kontraventilen giver mulighed for v.h.j.a. trykluft, via et stigrør til overfladen, at udtage vandprøver fra vandet i borestammen over kontraventilen (se figur 2.1), og der kan dermed udtages niveaukorrekte vandprøver i vilkårlige niveauer. Endvidere kan der udføres slugtest (kap. 3.1) til bestemmelse af den hydrauliske ledningsevne, og der kan løbes en gamma-log i borerøret til sedimentidentifikation. BOTESAM-metoden består i den oprindelige standardudgave (Larsen & Andersen, 1987) således i fem hoved-deloperationer:

- 1) Nedramning af rammefilter.
- 2) Udførelse af slugtest for bestemmelse af intervallets hydrauliske ledningsevne.
- 3) Udtagelse af formationsvand fra afgrænsede intervaller.
- 4) Måling af formationsvandets elektriske ledningsevne m.m.
- 5) Udførelse af geofysisk(e) log til fortolkning af den gennemborede lagserie.

Der er desuden i en hvis udstrækning mulighed for at modificere metoden til anvendelse i andre sammenhænge.

## 2.2 SNEGLEBORING

Ved Ellogboremetoden anvendes en snegleboreteknik. Denne teknik er en tørboring, hvilket vil sige, at der ikke tilsættes boremidler (boremudder, vand etc.) under boreprocessen og at materialet fjernes fra borespidsen under nedboringen.

Borestrengen er en hulsnegl med ubrudte sneglevindinger fra borehovedet til jordoverfladen,

hvorved borematerialet løbende kan transporteres bort fra spidsen. Derved kan boreprocessen forløbe uden at strengen skal trækkes tilbage for at renses.

Borehovedet kan have en fjernbar centerspids, enten ved at denne slås ud i formationen eller trækkes tilbage op gennem borestrengen. Ved Ellogboremetoden anvendes borehoveder med og uden fjernbar spids.

Den indre hulhed er tør under nedboringen, men før en eventuel fjernelse af centerspidsen i borehovedet fyldes borestrengen med vand for at modvirke at formationen trænger op i strengen.

Til rotation af borestrengen anvendes en hydraulisk borerig med kraftigt omdrejningsmoment (300 - 600 kgm).

Boreteknikken med hulsnegle bl.a til sedimentprøvetagningen har været anvendt i U.S.A. i mange år, men er først blevet introduceret i Danmark i forbindelse med Ellogboremetoden.

### 3. ANVENDTE METODER TIL BESTEMMELSE AF DEN HYDRAULISKE LEDNINGSEVNE

#### 3.1 SLUGTEST

Slugtesten er en metode til feltbestemmelse af den hydrauliske ledningsevne lokalt i en akvifer. Metoden blev introduceret af Hvorslev (1951) og er senere modificeret og ændret af flere forfattere (Cooper et al., 1967; Bouwer & Rice, 1976). De idag anvendte metoder bygger almindeligvis på en af de to sidstnævnte beregningsmetoder, således at Cooper et al. -metoden anvendes i fuldt filtersatte borer i artesiske akviferer, mens Bouwer & Rice metoden anvendes i partielt filtersatte borer i akviferer med frit vandspejl. Sidstnævnte metode er derfor anvendt her.

Metoden udnytter det forhold, at den hydrauliske ledningsevne i et givent interval tæt på en boring, er en funktion af retableringstiden, d.v.s. tiden for udlignelse af en påført potentialeforskel mellem boring og akvifer. Potentialeforskellen opnås ved enten at hæve eller sænke vandspejlet i boringen. Herefter registreres den eksponentielt aftagende potentialeforskel under retableringen af det oprindelige vandspejl, som funktion af tiden. En fintfølede, hurtigreagerende tryktransducer placeret i et vilkårligt niveau under vandspejlet i boringen anvendes til dette formål. I undersøgelserne ved Vejen losseplads registreredes vandspejlsstigningen i boringen efter en tømning ned til kontraventilen, med en tryktransducer placeret umiddelbart over denne. Potentialestigningen som funktion af tiden registreredes på en skriver, og de fremkomne kurver har dannet grundlag for beregningen af den hydrauliske ledningsevne. Bouwer & Rice (1976) metoden har, ud fra disse kurver, hidtil været anvendt til beregning af den hydrauliske ledningsevne (se dog Hinsby et al., 1991). Metoden er meget anvendt for aquiferer med frit vandspejl og partielt filtersatte borer og anvender flg. formel:

$$K_{BR} = R_c^2 \ln (Y_o/Y_i) \{1,1/\ln(H/R_w) + [A+B \ln ((D-H)/R_w)]R_w/L\}^{-1}/2Lt$$

hvor:

A = 2,0 } for det her anvendte rammefilter

B = 0,33 } for det her anvendte rammefilter

$Y_o$  = Potentiale til  $t=0$

$Y_t$  = Potentiale til tiden  $t$

$H$  = Afstand fra grundvandsspejl til bund af filter

$D$  = Aquifertykkelse

$L$  = Filterlængde

$R_c$  = Boringens nominelle ("indre") radius.

$R_w$  = Boringens "effektive" ("ydre") radius.

### 3.2 SEPARATIONS INJEKTIONS TEST

Til sammenligning med resultater fra slugtest-metoden er den hydrauliske ledningsevne yderligere bestemt ved SIT-metoden.

SIT (Separations Injektions Test)-metoden er udviklet på DGU (Andersen et al., 1989) som en alternativ metode til bestemmelse af permeabiliteten i delintervaller af boringers indstrømningsinterval. Figur 3.1 viser en principskitse af forsøgsopstillingen. SIT-testen udføres ved at nedpumpe vand ved kendte pumpeydeler gennem to slanger til top og bund i en boring. Bundslangens vand er mærket med en tracer ( $Cl^-$ ), der gør det muligt at fastlægge grænsen mellem de to nedpumpevandtyper, v.h.j.a. en ledningsevнемåler. Salt/ferskvandsgrænsen fastlægges, efter at der er opnået quasistationære forhold, ligesom vandspejlet i boringen pejles for at bestemme den under forsøget etablerede potentialetilvækst. Ved at variere kapaciteterne på de to pumper efter ønske, er det således muligt at bestemme permeabiliteten i et hvilket som helst interval i boringen. Under forudsætning af konstant potentialeforskel, homogenitet samt strømningsbetingelser, der tilfredsstiller Darcy's lov, kan den hydrauliske ledningsevne bestemmes ud fra følgende formel (Hvorslev, 1951):

$$K = Q [\ln (mL/D + \{1 + (mL/D)^2\}^{-1/2})] / 2\pi LH$$

hvor

$Q$  = pumpekapacitet

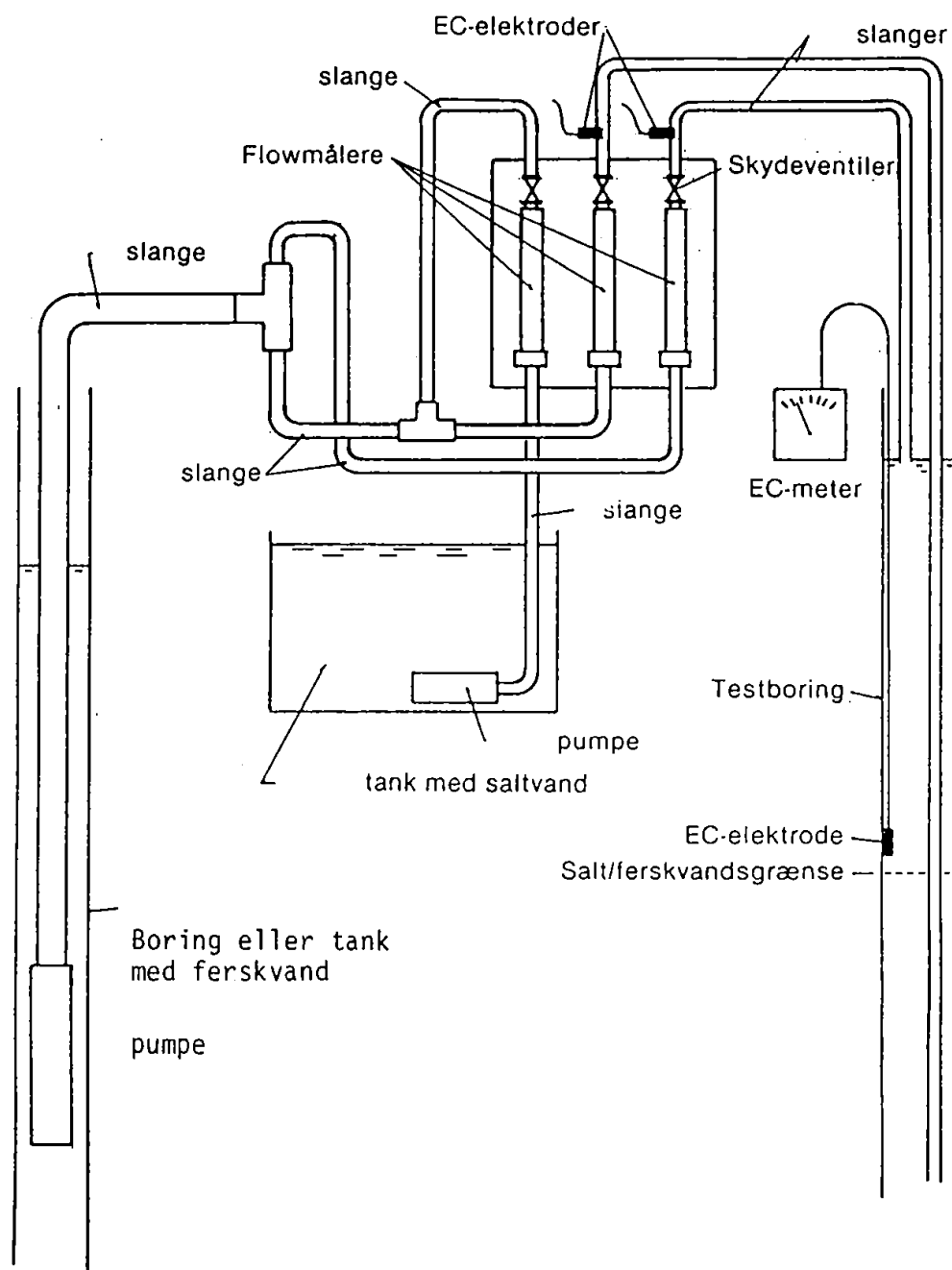
$m = (K_h/K_v)^{-1/2}$ ,  $K_h$  og  $K_v$  er den hydrauliske ledningsevne i hhv. horisontal og vertikal retning.

$L$  = filterinterval

$D$  = filterdiameter

$H$  = potentialeforskel.

# ARRANGEMENT ANVENDT VED SEPARATIONSINJEKTION



Figur 3.1: Principskitse af arrangementet anvendt ved udførelse af Separations Injektions Test (efter Jakobsen, 1990)

## 4. ELLOGMETODER

Sonder til måling af den elektriske formationsmodstand i jordlag har været kendt i en årrække og anvendt kommercielt siden 30'erne. Måleprincippet er baseret på en sonde, der nedsænkes i et eksisterende borehul, eller på et tool, som er en integreret del af borestrengen i forbindelse med skylleboringer.

Ved borehulslogging er den målte tilsyneladende formationsmodstand influeret af mere eller mindre korrigerbare fejl fra borehullets geometri, borehulsvæsken, boremudderet og inversionszonen, se Colorado School of Mines (1963).

### 4.1 ELLOGBOREMETODEN

For at mindske indflydelsen af de ovennævnte fejlkilder er der ved Laboratoriet for Geofysik udviklet en ny metode til in situ måling af den elektriske formationsmodstand af jordlag: Ellogboremetoden, se Sørensen (1989).

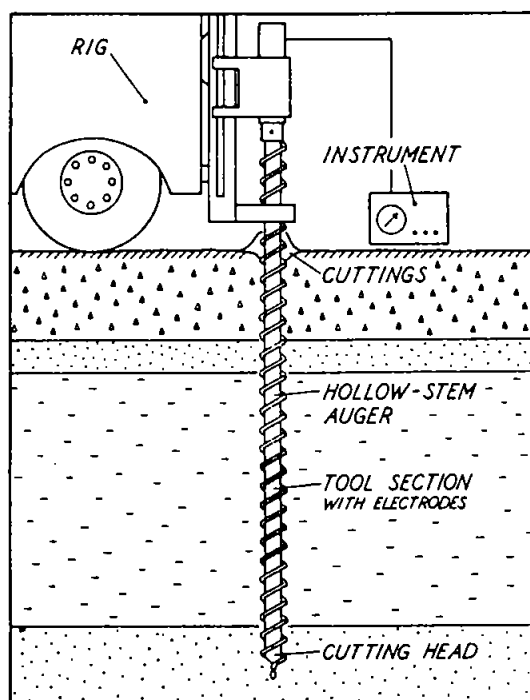
Ellogboremetoden er baseret på en snegleboreteknik med fortløbende snegl fra spids til jordoverflade, hvor målesonden indgår som en integreret del af borestrengen placeret umiddelbart over borespidsen. Målingerne udføres kontinuert under neddrivelsen med en firepunkts måleopstilling (Wennerkonfiguration), se figur 4.1 og appendiks A3.

Den målte tilsyneladende modstand er ikke som ved traditionelle elektriske logs influeret af borehulsvæsken, boremudder og inversionszone og kan derfor betragtes som et bedre estimat af den sande formationsmodstand.

Metoden har stor vertikal opløsningsevne (ned til få cm).

Snegleboreteknikken med fortløbende sneglekam er hurtig ved anvendelse i ikke konsoliderede sedimenter (sand/grus, ler) og i det udførte koncept er den meget lidt forstyrrende på den omkringliggende jordformation.





Figur 4.1 Ellogboreprincip.

#### 4.1.1 2"-Ellog teknik

Ellogboremetoden blev udviklet ved anvendelse af en 2" snegleborestreng, se appendiks A3. Borestrengen har en indvendig gennemgående hulhed, hvori kabelforbindelserne mellem sonden og måleinstrumentet er ført. I borehovedet på riggen er monteret et slæbeskosaggregat, således at målingerne kan foretages løbende under nedboringen.

Dette koncept blev brugt i forsøgsperioden og finder stadig anvendelse, hovedsagelig indenfor råstokkortlægning og geotekniske undersøgelser.

#### 4.1.2 4"-Ellog teknik

I forbindelse med vandmoniteringsplanen blev ellogboresonden videreudviklet til at kunne indgå i en 4" borestreng, se appendiks A3.

Formålet var at kunne anbringe filterrør ned gennem borestrengen.

Arbejdsgangen i anvendelsen af denne teknik til anbringelse af filtterrør er, at under nedboringen måles den elektriske formationsmodstand af de gennemborede jordlag ved hjælp af ellogsonden og ud fra tolkningen af den elektriske log vælges filterniveauerne.

Herefter slås borespidsen ud og filtterrør anbringes ned gennem borestrengen, som derefter trækkes tilbage, eventuelt med nedpumpning af bentonit til afspærring ved perforerede impermeable lag.

Indenfor den senere tid er metoden videreudviklet til en teknik, hvor den elektriske ledningsevne af porevæsken måles samtidig med formationsmodstanden under neddrivelsen, og der udtages niveaubestemte væskeprøver ved hjælp af hvilke et kemisk profil kan bestemmes.

#### **4.2 RAMMEELLOGMETODEN**

Teknikken beskrevet i det ovenstående til måling af formationsmodstanden var umiddelbar indlysende at overføre til rammeboring. I denne forbindelse blev fremstillet en sonde, der kunne indgå som en integreret del af 2" rammestrengen anvendt ved BOTESAM boring, se appendiks A3.

I lyset af, at der var flere forskellige sonder og teknikker i anvendelse til in situ måling af den elektriske formationsmodstand ved ellogboring, opstod et behov for at gennemføre en undersøgelse af, hvorledes disse indbyrdes reproducerede den målte modstandsprofil.

## 5. UDFØRTE BORINGER OG FELTTESTS

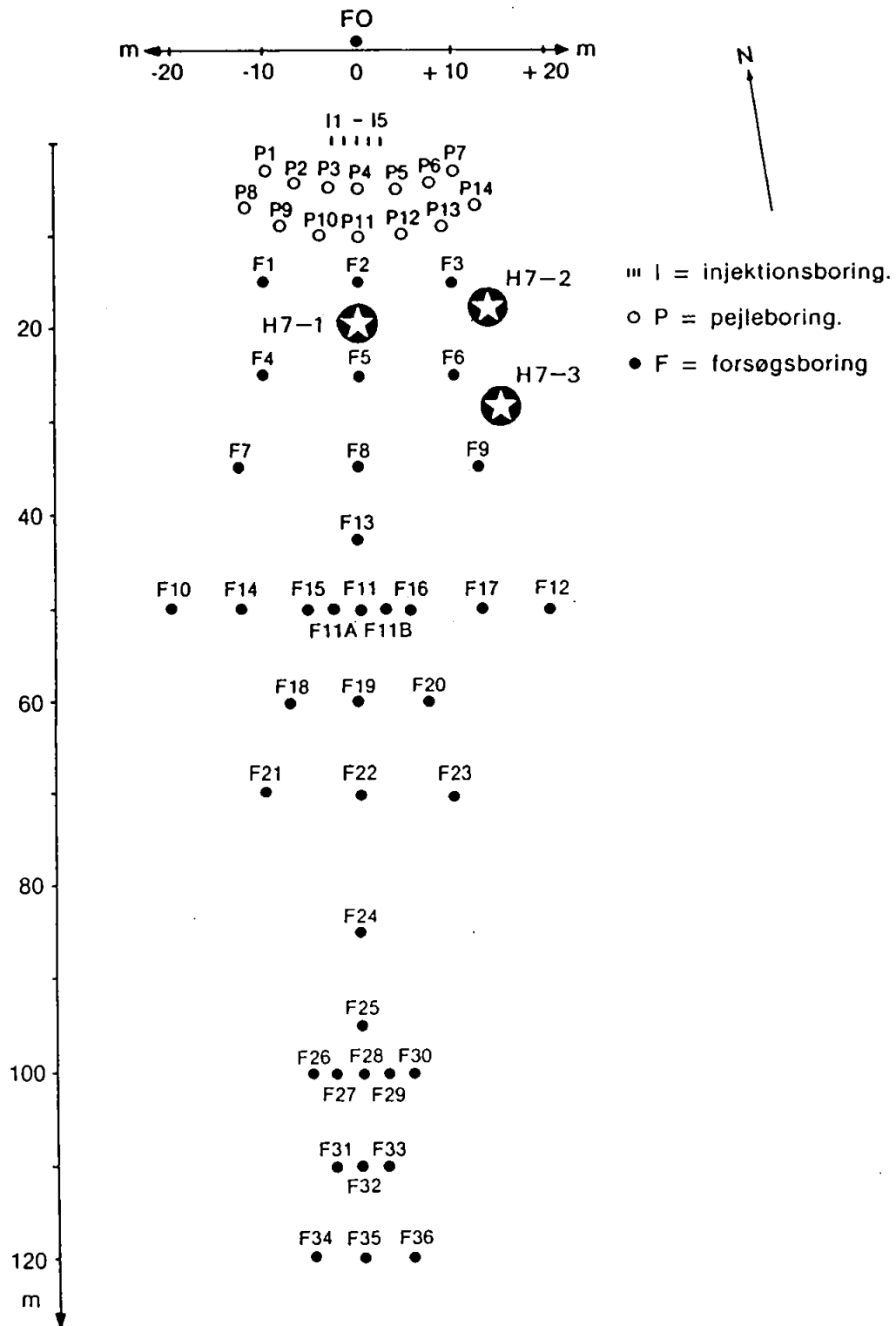
De planlagte undersøgelser blev gennemført på injektionsfeltet i nærheden af Vejen Losseplads (se figur 5.1), idet der her via andre projekter under Lossepladsprojektet foreligger forskellig baggrundsviden af geologisk og hydrogeologisk art.

Tabel 5.1 viser de gennemførte feltaktiviteter. Der er således udvalgt tre forsøgslokaliteter (H7-1, H7-2, og H7-3), hvis placering ses af figur 5.1. Ved hver af de tre lokaliteter er der gennemført en BOTESAM-boring og tre forskellige el-log-boringer. De anvendte el-log boretools er for 2"- og 4"-el-logs vedkommende med Wennerkonfiguration,  $a=20$  cm. For rammetooler er målingerne gennemført med tre elektrodeopstillinger, hvoraf den ene er en Wennerkonfiguration,  $a=20$  cm (se iøvrigt appendiks 3).

Ved samtlige målinger af den tilsyneladende formationsmodstand er anvendt et ved Laboratoriet for Geofysik nyudviklet måleinstrument baseret på synkron data detekteringsteknik, se [4] og dataoptagningen er foretaget digitalt. Tætheden af målepunkterne i loggen er een sample pr. 5 cm.

Udover ovennævnte aktiviteter er der installeret et antal filtre af forskellig dimension og længde til brug ved måling af hydraulisk ledningsevne. 63 og 75 mm filtrene er placeret gennem den hule 4"-snegl i ellog boringerne. Af disse filtre er tre gruskastede, mens tre ikke blev gruskastet (se tabel 5.1). 40 mm filtret er placeret gennem et nedrammet 2"-jernrør og er ikke gruskastet.

De enkelte boringer ved hver lokalitet er placeret med en indbyrdes afstand på mindre end 1,5 meter. Alle grupperne er afsluttet indenfor samme uge (6.11-10.11 1989).



Figur 5.1: Placeringen af boringsgrupperne H7-1, H7-2 og H7-3 i relation til Vejen Injektionsfelt.

Tabel 5.1 Oversigt over gennemført undersøgelsesaktiviteter

Boring/ installation	Gruppe		
	H7-1	H7-2	H7-3
<u>Boringer</u>			
BOTESAM	x	x	x
El-log 4"	x	x	x
El-log 2"	x	x	x
El-log ramme	x	x	x
<u>Installationer</u>			
75 mm filter, snegle- boret, 1 meter			x <sup>1)</sup> a)
75 mm filter, snegle- boret, 6 meter		x <sup>2)</sup> a)	
63 mm filter, snegle- boret, 1 meter	x <sup>1)</sup> a)		x <sup>1)</sup> b)
63 mm filter, snegle- boret, 6 meter		x <sup>2)</sup> b)	
40 mm filter, rammet 5 meter		x <sup>2)</sup> b)	

1) Filtret er kun slugtestet

2) Filtret er både slug- og SIT-testet

a) Gruskastet

b) Ikke gruskastet

## 6. RESULTATER OG DISKUSSION

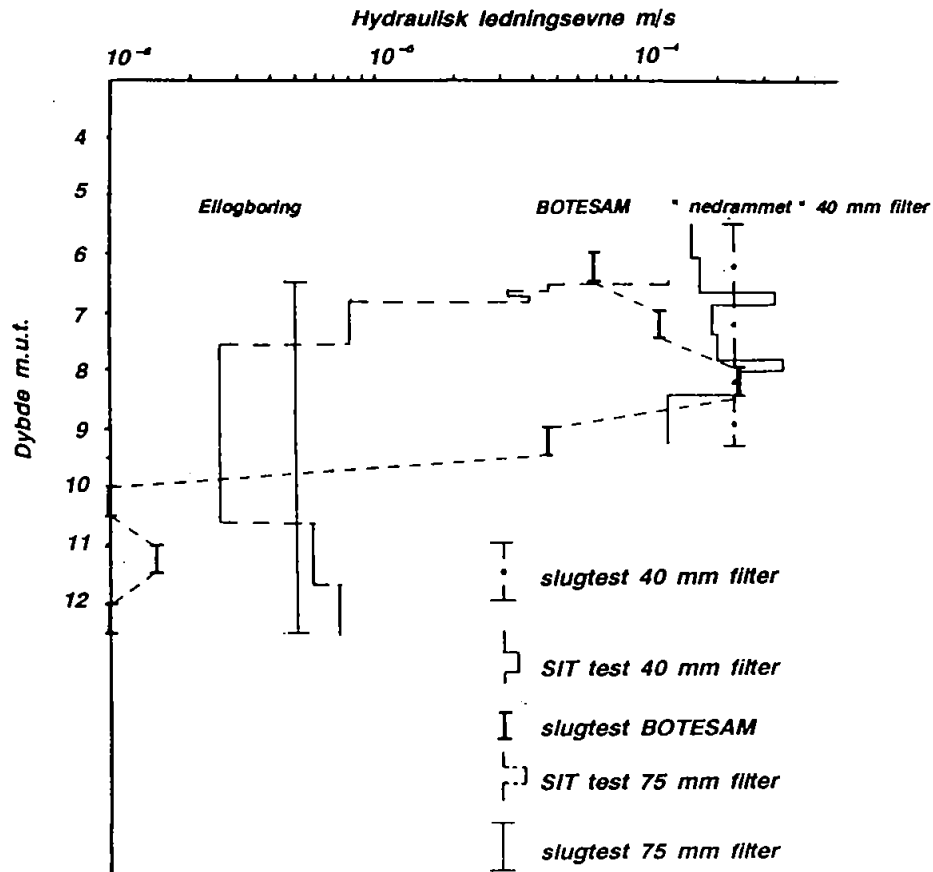
### 6.1 SAMMENLIGNING AF MÅLINGER AF HYDRAULISK LEDNINGSEVNE

Resultater fra de traditionelt udførte BOTESAM-boringer fremgår af appendix A1. Det fremgår, at smeltevandsleret fra Weichsel (Gravesen, 1989) i alle tre boringer optræder ca. 9,3 m.u.t., og dermed er alle de lange filtre placeret 1-3 m nede i leret. Leret er overlejret af smeltevandssand fra Weichsel.

Det fremgår iøvrigt, at den fra slugtest beregnede hydrauliske ledningsevne i udvalgte niveauer i 5,5-9,5 m.u.t. i de tre BOTESAM-boringer, varierer fra  $0,23-2,4 \cdot 10^{-4}$  m/s, således at 9 ud af de 15 slugtestede niveauer i dette interval giver en hydraulisk ledningsevne af størrelsesordenen  $10^{-4}$  m/s. Under 9,5 m.u.t. er der udført slugtest i 8 niveauer, i 7 af disse var der ingen tilstrømning til filteret, mens der i det sidste blev målt en hydraulisk ledningsevne på  $1,5 \times 10^{-6}$  m/s. Fordelingen af den målte hydrauliske ledningsevne i hvert "BOTESAM-profil" er således helt i overensstemmelse med både gammalog og ellog.

Variationerne i grundvandets elektriske ledningsevne er desuden forholdsvis små og typiske for antropogent "upåvirket" til lettere landbrugspåvirket grundvand i området ved Vejen Losseplads. Grundvandets elektriske ledningsevne er bestemt af hensyn til vurderingen af variationen af den elektriske formationsmodstand målt ved ellog-boremetoderne.

I figur 6.1 sammenlignes slugtest foretaget i BOTESAM-filteret med slugtest og SIT-test foretaget i hhv. et 75 mm gruskastet "sneglefilter" samt et 40 mm filter, som er sat gennem et nedrammet 2"-jernrør, der senere er trukket tilbage. Det fremgår af figuren, at der er en ganske god overensstemmelse mellem slug- og SIT-test resultater fra samme boring (40 mm og 75 mm filtrene). Det skal bemærkes, at slugtesten er udført i hele filterintervallet, og den fremkomne værdi er derfor en gennemsnitspermeabilitet for formationen i hele filterintervallet. SIT-testen derimod har i det aktuelle tilfælde en langt bedre opløselighed og har registreret højpermeable lag af 20-25 cm's mægtighed. Begge metoder kan imidlertid modificeres til at foretage permeabilitetsbestemmelser i delintervaller på ganske få centimeter, hvis en sådan opløselighed ønskes.



Figur 6.1. Sammenligning af den hydrauliske ledningsevne bestemt ved slug- og SIT-test i boringer fra H7-2 gruppen.

Det fremgår endvidere af figuren, at slugtest resultaterne fra BOTESAM-boringen er af samme størrelsesorden som slug- og SIT-test resultaterne fra 40 mm boringen. Resultaterne fra begge metoder ligger dog under den forventede middelværdi på  $5.0 \times 10^{-4}$  m/s (Bjerg et al., 1991).

Afvigelsen fra den forventede værdi må antages at være forårsaget dels af en uhensigtsmæssig filterkonstruktion dels af anvendelse af forkerte forudsætninger i Bouwer & Rice beregningsmetoden (Hinsby, 1990; Hinsby et al., 1991; Bjerg et al., 1991).

Slug- og SIT-test resultaterne fra 75 mm filteret ligger to størrelsesordener under resultaterne fra BOTESAM rammefilteret og det nedrammede 40 mm filter. Denne uoverensstemmelse tolkes som et resultat af "lerklining" i "snegleboringen" (75 mm filteret), idet boringen går flere meter ned i smeltevandsleret. Under transport af smeltevandsler til overfladen vil der afsættes ler på borehullets vægge, og dermed reduceres den hydrauliske ledningsevne dramatisk (Keely & Boateng, 1987). Boringen er inden SIT-testen forsøgt renpumpet i tre timer, uden dette, som

Tabel 1.: Den hydrauliske ledningsevne bestemt v.hj.a. slugtest i seks forskelligt udbyggede borer.

Gruppe	Grus- kastning	Boring Type (mm)	Filterinter- (val m.u.t.) (m)	H (m)	Antal test	$\cdot 10^{-4}$ m/s			
						$K_{\min}$	$K_{\max}$	$K_{\text{middel}}$	
H7-1	+	63	S	5,6 - 6,6	2,0	4	0,65	1,0	0,83
H7-2	+	63	S	6,55-12,55	4,6	2♥	0,37	0,43	0,40
H7-3	+	75	S	6,55-12,55	4,6	2♦	0,16	0,17	0,17
						4♥	0,029	0,034	0,031
						2♦	0,044	0,047	0,046
H7-2	+	40	R	5,50-10,50	5,0	3♣	0,053	0,065	0,057
H7-3	+	63	S	7,85- 8,85	4,0	1	2,3	2,3	2,3
H7-3	+	75	S	8,10- 9,10	4,0	6	0,021	0,032	"0,024"
									0,026

Parametre anvendt ved beregning af  
K-værdier efter Bouwer & Rice (1976):

D = 4,5 m

for

75 mm + grusk.

63 mm + grusk.

63 mm + grusk.

40 mm + grusk.

A	B
1,90	0,33
2,12	0,33
2,50	0,45
6,0	1,2

$R_c$	$R_w$
0,0310	0,0795
0,0254	0,0475
0,0254	0,0315
0,0175	0,0200

S = Snegleboring  
R = Rammeboring

♥ = Før renpumping  
♦ = Efter renpumping  
♣ = Efter SIT-test



det fremgår (se også tabel 6.1), har kunnet forbedre den hydrauliske ledningsevne væsentligt. Af tabel 6.1 fremgår det af de meget lave K-værdier ( $10^{-6}$  m/s), at lerklining af borehullet synes at være et problem i tre eller fire af de fem etablerede snegleboringer. Boringerne H7-3, 63 mm og H7-3, 75 mm er eksempelvis filtersat i et niveau, der ifølge både ellog og slugtest i BOTESAM-boringen, er det mest permeable. Slugtesten i 8-8,5 m.u.t. i BOTESAM-boringen har givet en hydraulisk ledningsevne på  $2,4 \times 10^{-4}$  m/s, mens slugtest i de to snegleboringer har givet  $\approx 2,5 \times 10^{-6}$  m/s altså ca. 100 gange mindre end værdien fra BOTESAM-boringen. Den eneste snegleboring, der ud fra den beregnede hydrauliske ledningsevne, ikke synes nævneværdigt påvirket af borehulsklining, er H7-1, 63 mm (se tabel 6.1). Denne boring går som den eneste ikke ned i leret. Imidlertid vil boreprocessen under boring med hul snegl også forstyrre den naturlige lejring af sedimentet i formationen lige omkring borehullet (Keely & Boateng, 1987; Morin et al., 1988). Dermed ændres de oprindelige permeabilitetsforhold ved borestammen. Den beregnede hydrauliske ledningsevne for formationen ved snegleboring H7-1, 63 mm må derfor stadig (uden lerkliningseffekt), formodes at være påvirket af boreprocessen (Keely & Boateng, 1987).

Den beregnede K-værdi ved H7-1, 63 mm-boringen er tilsyneladende også ca. 5 gange mindre end forventet, idet det testede filter er placeret netop i Tritium-tracerens bane i det første injektionsforsøg (lossepladsprojekt M5), og tritium-tracerens hastighed i dette forsøg indikerer en hydraulisk ledningsevne på ca.  $5 \times 10^{-4}$  m/s (Jensen & Bitsch, 1989). Det er dog ikke sandsynligt at denne forskel alene skal tilskrives forstyrrelsen af formationen under boreprocessen. De seneste slugtest-undersøgelser, under lossepladsprojekt H2-2 i Vejen injektionsfelt, viser således, at den anvendte beregningsmetode (Bouwer & Rice, 1976), under forsøgsbetingelser som i Vejen injektionsfelt, beregner en hydraulisk ledningsevne, der er 2-3 gange for lille. I H2-2 projektet har LtH og DGU i samarbejde udviklet en slugtest metode, der giver repræsentative bestemmelser af en lokal hydraulisk ledningsevne (Hinsby et al., 1991; Bjerg et al., 1991). Resultaterne herfra afrapporteres i H2-rapporten (Bjerg et al, 1991).

## 6.2 SAMMENLIGNING AF ELLOGMETODER

Der er som nævnt i kapitel 5 udført ellogboringer i tre grupper med 2"-, 4"-ellog og rammeellog i hver gruppe.

Reproducerbarheden i hver gruppe er vurderet ud fra sammenligning dels visuelt dels ved et udregnet forhold mellem 4"-Ellog, 2"-Ellog og 4"-Ellog, rammeellog. Grunden til at 4"-ellog er

brugt som basis er, at denne logtype er den mest udbredte. Resultaterne fra sammenligningerne for grupperne er vist i figurerne 6.2 - 6.7.

Gruppen H7-1 er udført inde i tracerfeltet og alle borerer er endt ved det impermeable lerlag i ca. 10 m.u.t.

Ved grupperne H7-2 og H7-3 er rammeboringen afsluttet ved lerlaget, idet den videre nedramning var meget vanskelig, hvorimod 2"- og 4"-Ellogboringerne er fortsat til et dybere niveau, for at have et større datagrundlag til sammenligningen.

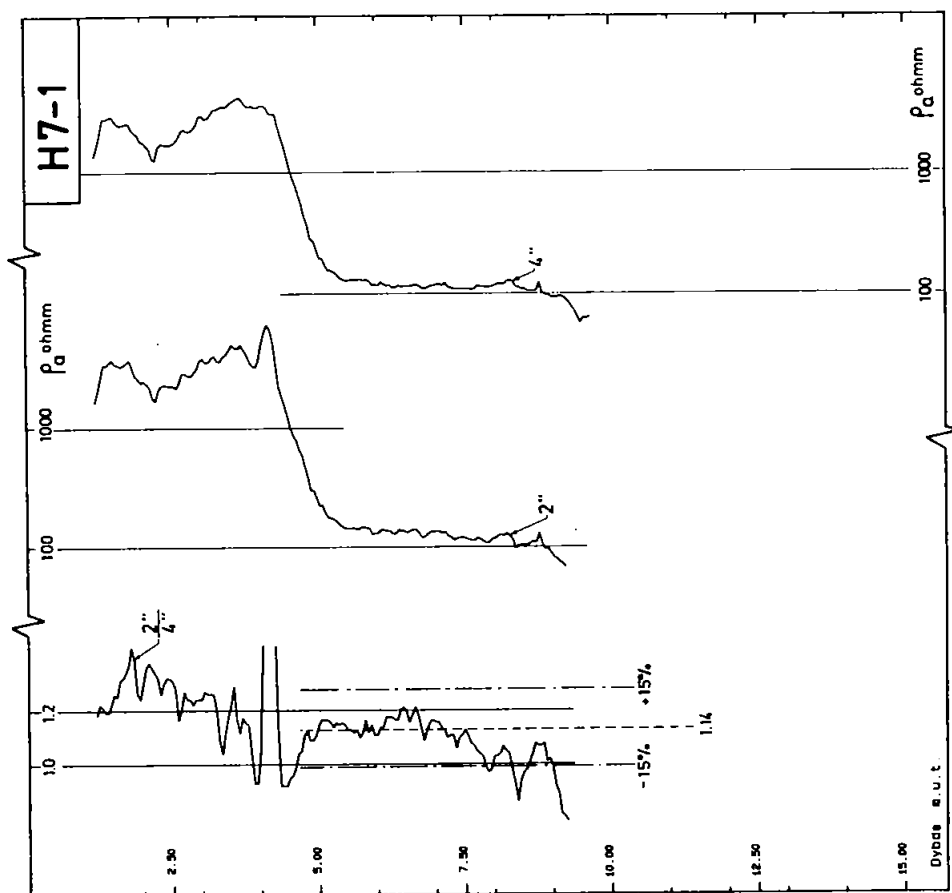
En gennemgang af resultaterne viser, at de målte ellogs (udført med forskellige teknikker) stemmer godt overens indenfor hver gruppe. Overensstemmelsen mellem logs i den umættede zone er mindre end i den mættede zone. Dog er det kvalitative forløb ens med en forskydning på en faktor 1,2 til 1,4.

Da formationsmodstanden af det tørre sandlag tæt ved jordoverfladen er stærkt afhængig af laterale og tidlige (vejrsmæssige) variationer i vandindholdet vil loggen fra to nærtliggende borerer ikke kunne forventes at have samme niveau. Derudover kan kompakteringen ved rammeboringerne forårsage højere målte tilsyneladende modstande end ved borede ellogs. I denne forbindelse skal nævnes, at der i feltperioden var bygevejr.

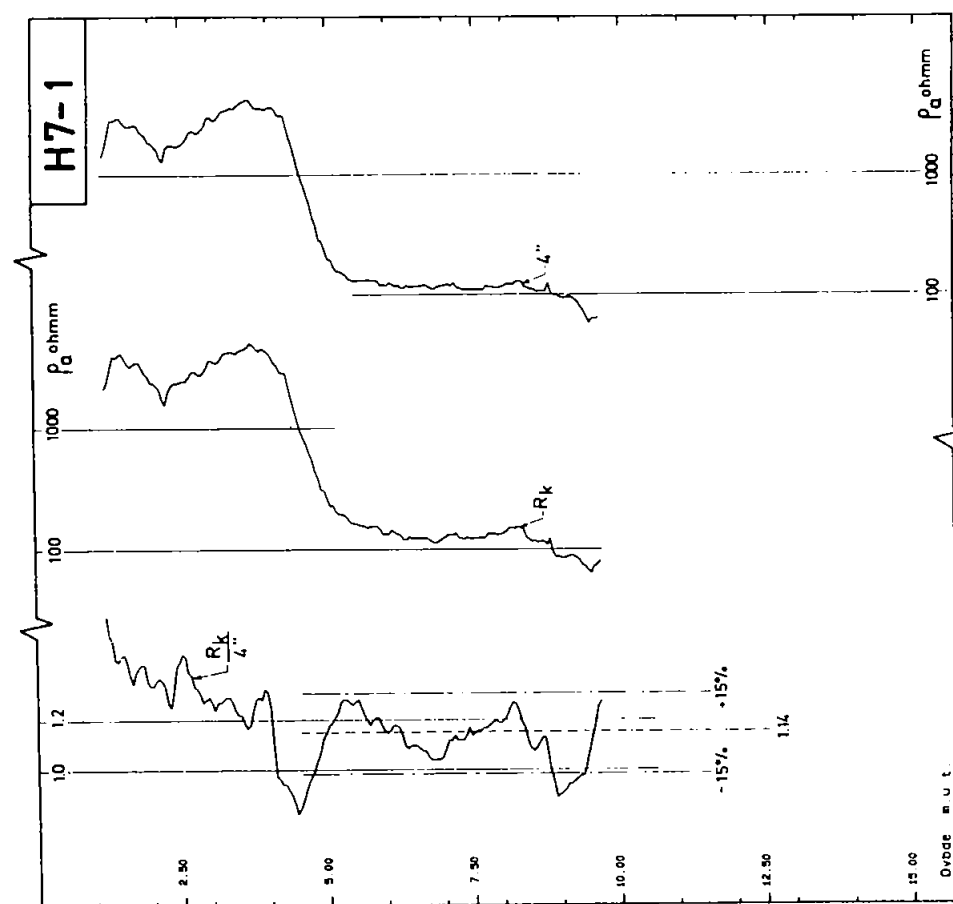
I den mættede zone er overensstemmelsen indenfor samme gruppe af ellogs 5% til 10%.

Ved boreellogs viser forholdet mellem 2"- og 4"-ellogs et tilfældigt billede, med spikes omkring stærkt varierende dele af loggen, hvilket skyldes forskydningen af dybden mellem borerer til strukturerne. Ved forholdet mellem rammeellogs og 4"-Ellogs er derimod et langbølget indhold, som kan skyldes en forskellig kompaktering af horisonter med forskellige kornstørrelsesfordeling.

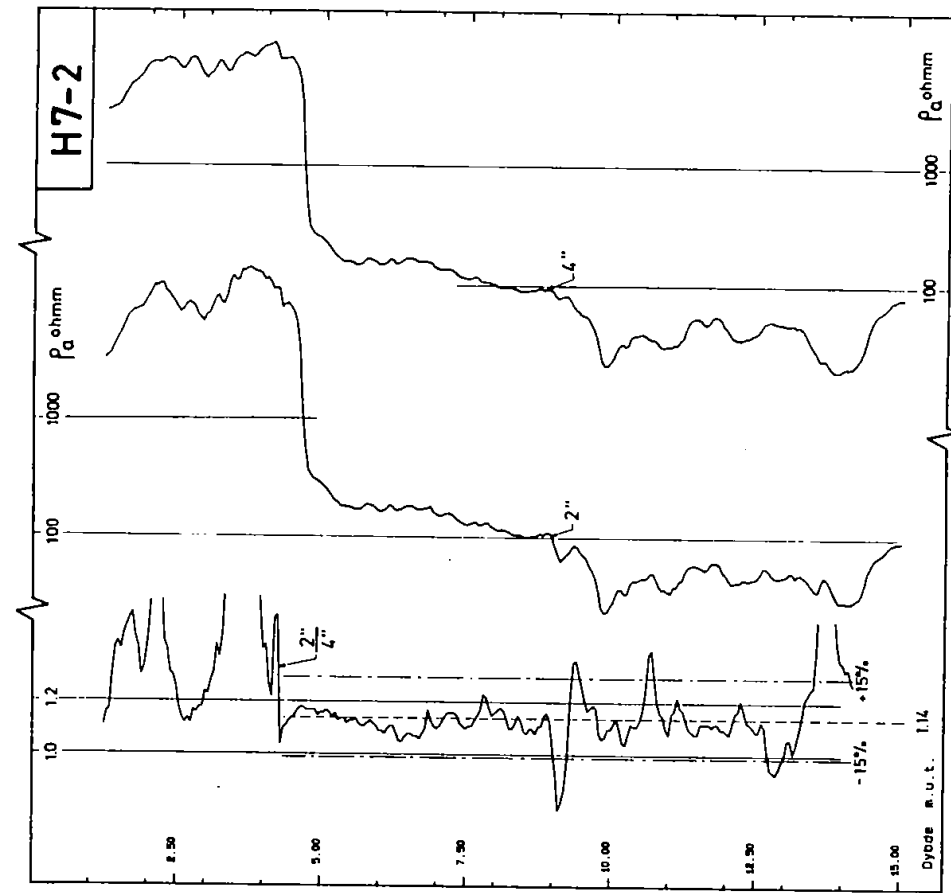
Der er en signifikant forskydning i den mættede zone mellem 4"-Ellogs og de andre typer på en faktor 1.14, således at 4"-ellogs konsekvent giver lavere tilsyneladende modstand. Dette forhold skyldes sandsynligvis 4"-sondens større diameter og må fremover (kræver en nærmere undersøgelse) indregnes som en korrektionsfaktor ved udregningen af den tilsyneladende modstand.



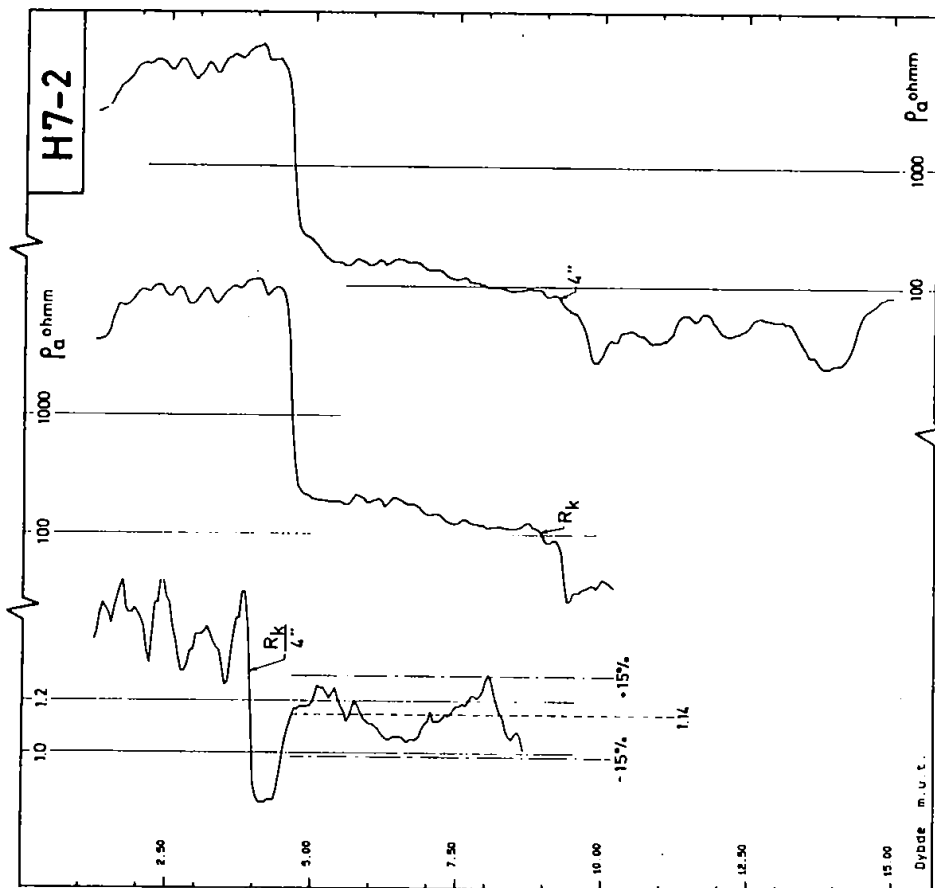
Figur 6.3 Figuren viser den tilsyneladende formationsmodstands variation med dybden for 2"- og 4"-ellog fra gruppen H7-1. Som sammenligningsgrundlag er vist forholdet mellem de to logs.



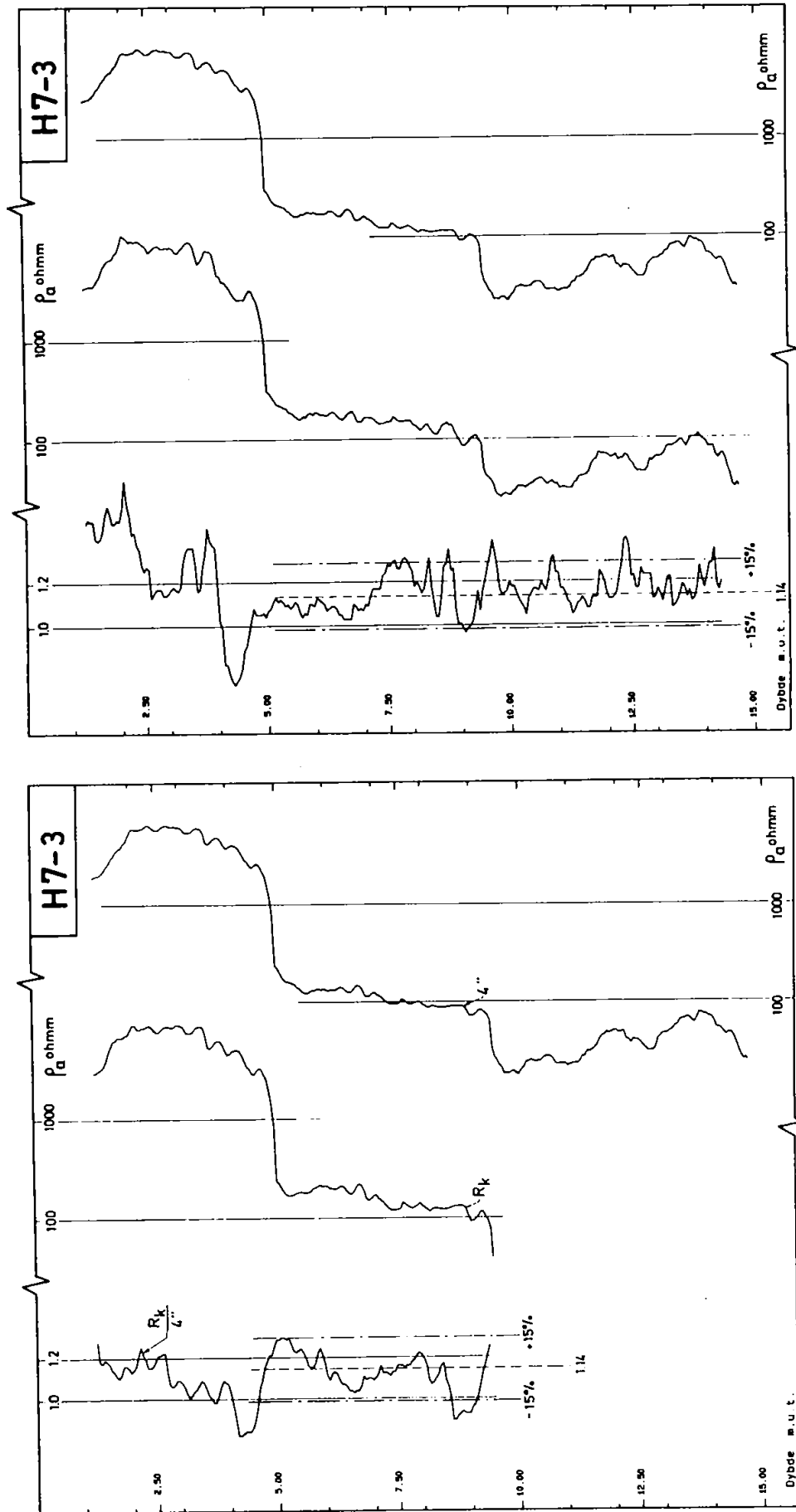
Figur 6.2 Figuren viser den tilsyneladende formationsmodstands variation med dybden for en rammeellog med Wenneropstilling  $a = 20$  cm og 4"-ellog fra gruppen H7-1. Som sammenligningsgrundlag er vist forholdet mellem de to logs.



Figur 6.5 Figuren viser den tilsyneladende formationsmodstands variation med dybden for 2"- og 4"-ellog fra gruppen H7-2. Som sammenligningsgrundlag er vist forholdet mellem de to logs.



Figur 6.4 Figuren viser den tilsyneladende formationsmodstands variation med dybden for en rammeellog med Wenneropstilling  $a=20$  cm og 4"-ellog fra gruppen H7-2. Som sammenligningsgrundlag er vist forholdet mellem de to logs.



Figur 6.6 Figuren viser den tilsyneladende formationsmodstands variation med dybden for en rammeellog med Wenneropstilling  $a = 20$  cm og 4"-ellog fra gruppen H7-3. Som sammenligningsgrundlag er vist forholdet mellem de to logs.

Figur 6.7 Figuren viser den tilsyneladende formationsmodstands variation med dybden for 2"- og 4"-ellog fra gruppen H7-3. Som sammenligningsgrundlag er vist forholdet mellem de to logs.

### 6.3 KOMPakterINGSUNDERSØGELSE VED RAMMEBORING

For at vurdere tilstedeværelsen af en kompakteringszone omkring en rammeborestreng er udført rammeellogboringer med et tool påmonteret tre elektrodekonfigurationer ved hjælp af hvilke, den elektriske formationsmodstand er målt simultant og med samme fokuseringsdybde, se appendiks A3.

Kompakteringen vurderes indirekte ved at estimere porøsitetsvariationen ud fra ændringen i den elektriske formationsfaktor  $F$  som funktion af indtrængningsdybden.

Formationsfaktoren er defineret som forholdet mellem formationsmodstanden og modstanden af porevæsken:

$$F = \rho_f / \rho_w$$

og er samtidig knyttet til porøsiteten  $\phi$  ud fra det empiriske udtryk:

$$F = \alpha \phi^{-m}$$

hvor størrelsen af faktorerne  $\alpha$  og  $m$  ses i tabel 6.2.

En porøsitetsændring vil derfor give anledning til en ændring i formationsfaktoren. Forudsat porevæskens modstand kan antages at være uændret vil gælde, at:

$$F_1 / F_2 = (\phi_2 / \phi_1)^m$$

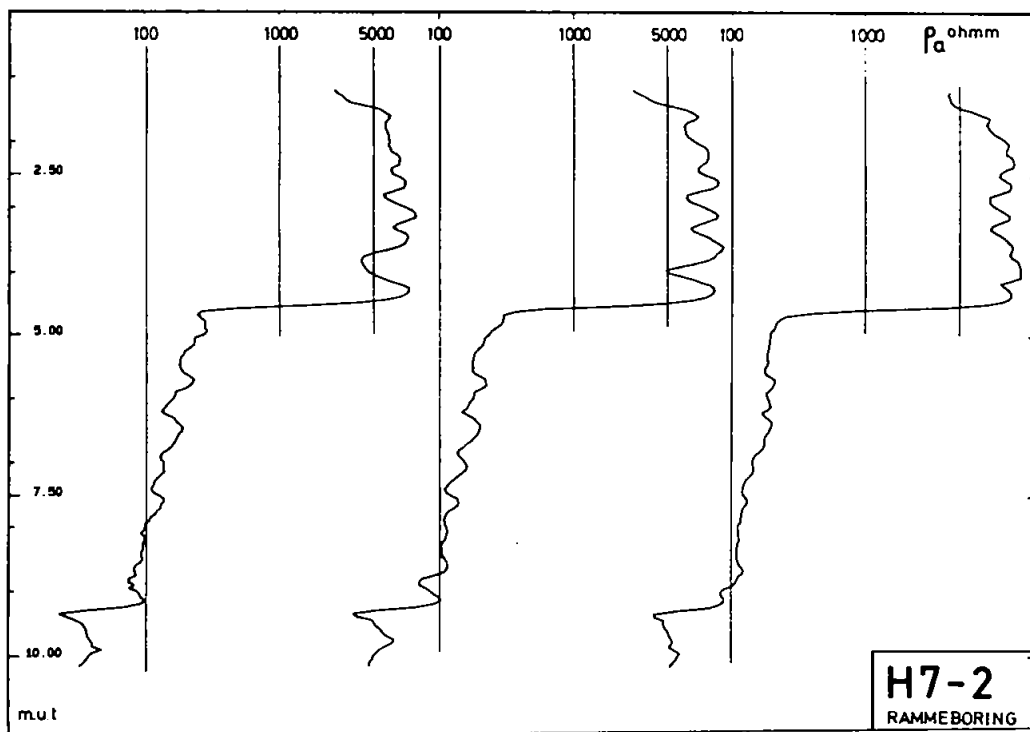
I det aktuelle tilfælde har det anvendte tool tre indtrængningsdybder anslået til 10 cm, 20 cm og 30 cm, se Skov- og Naturstyrelsen (1987).

Toolets længde for den største indtrængningsdybde er 140 cm og 60 cm for den mindste med størst følsomhed omkring centerplanen.

Ud fra variationen i de målte rammelogs antages det, at formationsmodstanden i middel ikke varierer vertikalt set indenfor det af målingen berørte område, se figur 6.8. Derudover antages, at porevæsken har samme modstand indenfor måleområdet.

Tabel 6.2: Empirisk sammenhæng mellem porøsiteter og formationsfaktorer for udvalgte sedimentter, se Skov- og Naturstyrelsen (1987).

Sediment	a	$\Phi$	m	F
Flodsand og flyvesand (Holland)	1,26	0,24-0,49	1,20	3-7
Miocænt kvartssand (Danmark)	1,1	0,31-0,47	1,7	4-8
Jura sandsten (USA)	0,62	0,14-0,23	2,10	14-39



Figur 6.8 Den tilsyneladende formationsmodstand som funktion af dybden for rammeellogs H7-2. Målingerne er udført simultant med tre indtrængningsdybder (k: 10 cm, m: 20 cm og s: 30 cm) og samme fokuseringsdybde. Bortset fra niveauforskydninger mellem de enkelte logs viser de samme kvalitative forløb. Da der ikke er tale om fokuserede logs, vil den vertikale midlingsbredde vokse med indtrængningsdybden og loggen derved få et mere langbølget frekvensindhold.

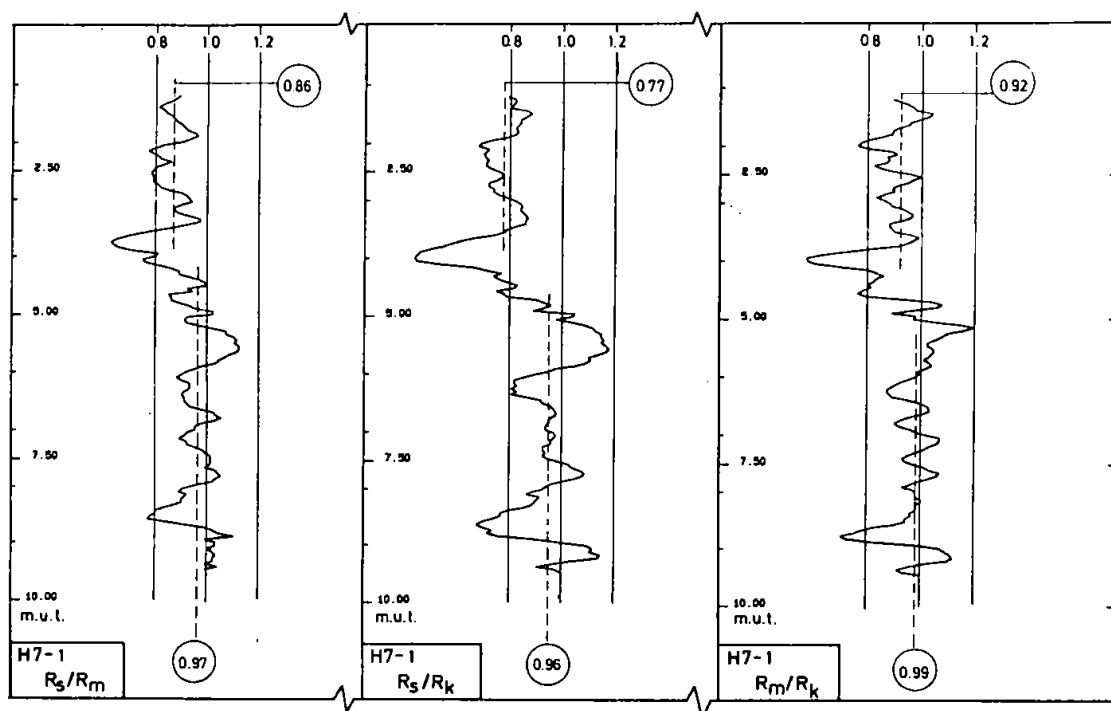
Variationerne i formationsmodstanden på den valgte lokalitet er større end først antaget og giver et mere usikkert resultat end en homogen formation må forventes at give.

Dog indikerer måleresultaterne, at der er en kompaktion omkring rammeborestrengen, således at kompakteringen i den mættede zone ligger i et område med en radius på 20 cm.

Denne antagelse bygger på, at samtlige rammeellogs i den mættede zone, se figurene 6.9 - 6.11 viser samme formationsmodstand for 10 cm og 20 cm indtrængning, medens for 30 cm indtrængning er formationsmodstanden lavere.

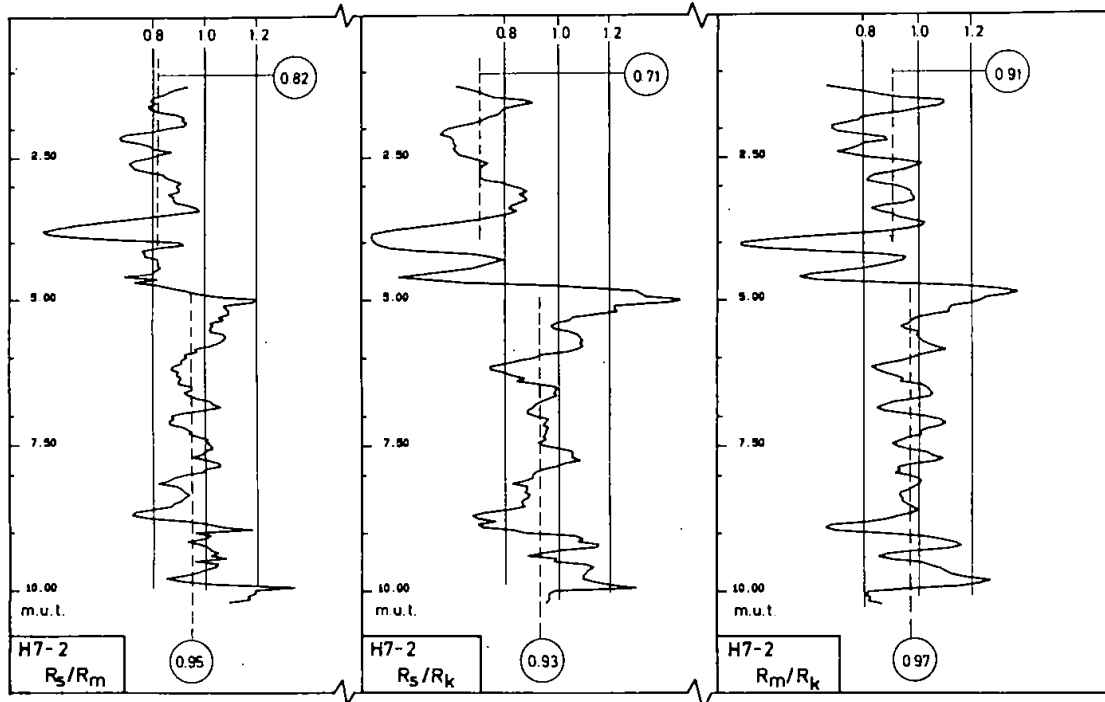
I middel er modstandsforholdet og dermed formationsfaktorforholdet i den mættede zone: 0,95 mellem det indre område (10 cm og 20 cm) og det ydre (30 cm).

Med  $m = 1,2$  giver (1) en middelporøsitsændring på 0,96.

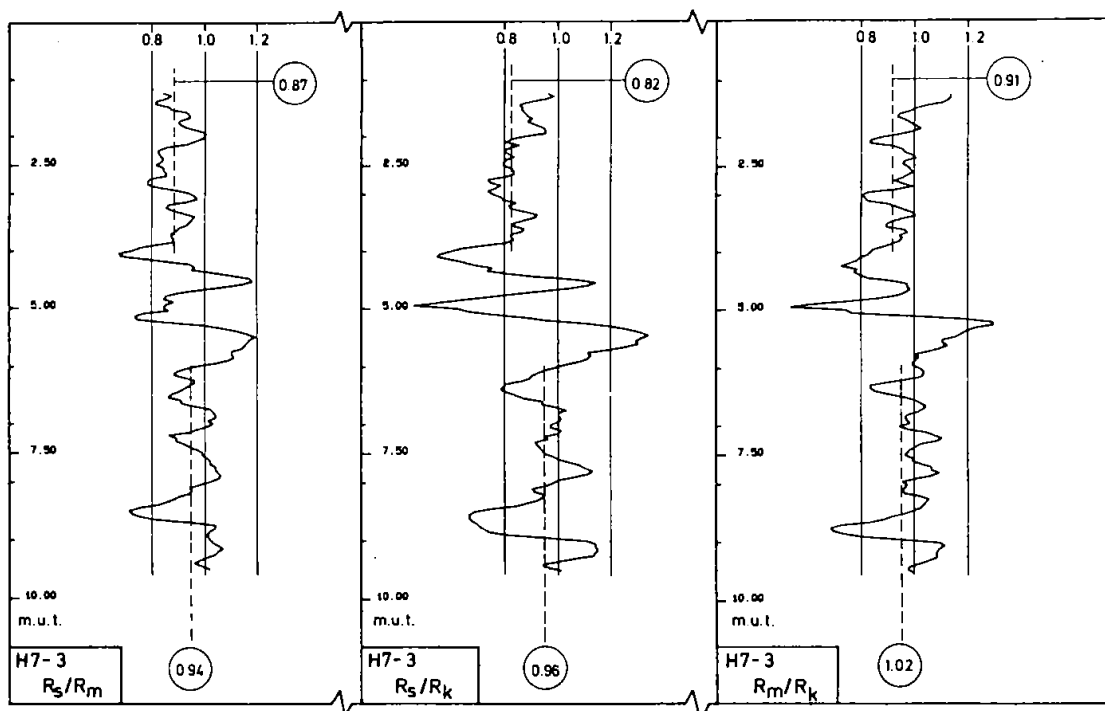


Figur 6.9 Forholdet mellem de simultant målte rammeellogs H7-1 med indtrængningsdybder  $k$ : 10 cm,  $m$ : 20 cm og  $s$ : 30 cm. Grundvandsspejlet ligger ved ca. 5 m.u.t., hvor forholdet ændres fra det umættede niveau (mere påvirket af kompakteringen) til det mættede niveau.





Figur 6.10 Forholdet mellem de simulant målte rammeellogs H7-2 med indtrængningsdybder k: 10 cm, m: 20 cm og s: 30 cm. Grundvandsspejlet ligger ved ca. 5 m.u.t., hvor forholdet ændres fra det umættede niveau (mere påvirket af kompakteringen) til det mættede niveau.



Figur 6.11 Forholdet mellem de simulant målte rammeellogs H7-3 med indtrængningsdybder k: 10 cm, m: 20 cm og s: 30 cm. Grundvandsspejlet ligger ved ca. 5 m.u.t., hvor forholdet ændres fra det umættede niveau (mere påvirket af kompakteringen) til det mættede niveau.

I den umættede zone er effekten mere udtalt end i den mættede. Sandsynligvis skyldes dette, at i umættede formationer, hvor matrix (sand/grus) er elektrisk isolerende, sker den elektriske ledning i den væskefilm, som ligger på overfladen af kornene. Ved en kompaktering afskæres dele af denne film ved at kornene får tættere kontakt.

Som model for kompaktionen antages, at denne sker indenfor en radius  $R_t$  ud fra centrum af rammestrengen og at porøsiteten ændres tilsvarende det rumfang, der fortrænges ved at strengen neddrives, se tabel 6.3.

Tabel 6.3 Porøsitetsændring som funktion af kompaktionszonens radius. Rammestrengens radius er 3 cm og den oprindelige porøsitet antages at være 0,30.

$R_t$ (cm)	15	20	25	30
$\delta\phi$	0,87	0,93	0,95	0,97

Ud fra ændringerne i den elektriske formationsmodstand blev estimeret en middelændring i porøsiteten på 0,96, hvilket stemmer overens med tabel 6.3 når kompakteringsradius antages at ligge mellem 20 og 25 cm.

Et vigtigt forhold at nævne i denne forbindelse i relation til kompakteringen og dennes indflydelse på den hydrauliske ledningsevne i den mættede zone er, at de enkelte korn fik tættere kontakt. Disse to forhold vil begge medføre, at området omkring rammestrengen vil få en lavere hydraulisk ledningsevne.

## 7. KONKLUSION

Resultaterne af de gennemførte sammenlignende undersøgelser kan trækkes sammen i følgende konklusioner:

- Det er muligt at gennemføre el-logs med rammeteknik. Resultaterne stemmer godt overens med resultater opnået ved snegleboreteknik.
- El-logs opnået ved brug af 4"-snegl tyder konsekvent på at give lavere tilsyneladende modstand end med 2"-snegl og rammespids, hvilket sandsynligvis skyldes 4"-sondens større diameter.
- Kompaktionen af jordlagene der sker omkring en rammeborestang ligger i den mættede zone indenfor cirka 20 cm fra borestangen. Denne kompaktion giver en ændring i porøsitet på i middel 4%. Resultatet er dog behæftet med nogen usikkerhed, hvilket skyldes relativt store variationer i formationsmodstand ved den valgte lokalitet.
- Der ses god overensstemmelse mellem den hydrauliske ledningsevne bestemt ved slugtest og separations-injektions-test i samme boring.
- BOTESAM-boringer påvirker formationens hydrauliske egenskaber mindre end snegleboringer, når der optræder ler og silt i boreprofilet, idet snegleboringen formentlig afsætter ler og silt på borehullets vægge.
- Slugtest i BOTESAM-boringer giver med den anvendte filterspids for små permeabiliteter (hydraulisk ledningsevne).
- Separations-injektions-test kan i nogle tilfælde være en god alternativ metode til bestemmelse af permeabilitets fordelingen i en boring.

## 8. REFERENCER

**Andersen, E.B. (1975):** Pumpe ståbi. 1. udgave. Teknisk Forlag a-s.

**Andersen, L.J. (1988):** BOTESAM, A Procedure for Boring, Hydraulic Testing, and Water Sampling Employed at the Field Site Vejen. Commission of the European Communities. 4th R&D Programme on "Environmental Protection" Research Area "Waste" 6th-7th October 1988, Fontainebleau France.

**Andersen, L.J., R. Jakobsen, F.L. Nielsen & B. Nilsson (1989):** Separationspumpnings- og separationsinjektionstest, (SPT) og (SIT), i forbindelse med grundvandsforurening. ATV-Kommitteen vedrørende Grundvandsforurening, Vintermøde, Vingsted 1989.

**Bjerg, P.L. (ed.) (1991):** Vejen Injektionsfelt : Hydrogeologi. Rapport H2, Lossepladsprojektet.

**Bjerg, P.L.; K.Hinsby, T.H. Christensen & P.Gravesen (1991):** Spatial variability of hydraulic conductivity of an unconfined sandy aquifer determined by a mini slug test. Submitted for publication in Journal of Hydrology.

**Bouwer H. & R.C. Rice (1976):** A Slug Test for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely or Partially Penetrating Wells. Water Res. Res. V. 12, p. 423-428.

**Colorado School of Mines (1983):** Geophysical Well Logging; Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 52, no. 2, april 1963.

**Cooper, H.H. Jr., J.D. Bredehoeft & I.S. Papadopoulos (1967):** Response of a Finite-Diameter Well to an Instantaneous Charge of Water. Water Res. Res. V. 3, p. 263-269.

**Gravesen, P. (1989):** Undersøgelser ved Vejen Losseplads: Geologiske Forhold. Danmarks Geologiske Undersøgelse. Rapport H10, Lossepladsprojektet.

**Hinsby, K. (1990):** Undersøgelser ved Vejen Losseplads: Forureningsudbredelse og reservoirforhold bestemt ved BOTESAM-metoden. Danmarks Geologiske Undersøgelse. Rapport H5, Lossepladsprojektet.

**Hinsby, K.; P.L. Bjerg; L.J. Andersen; B. Skov & E.V. Clausen (1991):** A mini slug test method for determination of a local hydraulic conductivity of an unconfined sandy aquifer. Submitted for publication in Journal of Hydrology.

**Hvorslev, M.J. (1951):** Time lag and soil Permeability in Groundwater Observations. Bulletin no. 36 Waterways Experiment Station. Corps of Engineers, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi.

**Jakobsen, R. (1990):** Undersøgelse af forureningsudbredelsen ved kemikaliedepot 269-2B, Karlstrup Mose "kalkgrav". DGU Intern rapport nr. 41, 1990.

**Jensen, K.H. & K. Blitsch (1989):** Feltdispersionsforsøg ved Vejen Statusrapport for perioden 1. marts 1989 - 30. juni 1989. September 1989, ISVA, DTH.

**Keely, J.F. & K. Boateng (1987):** Monitoring Well Installation, Purging and Sampling Techniques - Part 1: Conceptualizations. Ground Water V. 25, p. 300-313.

**Larsen, F. & L.J. Andersen (1987):** BOTESAM. Statusrapport nov. 1987, Lossepladsprojektet.

**Morin R.H., D.R. Le Blanc & W.E. Teasdale (1988):** A Statistical Evaluation of Formation Disturbance Produced by Well-Casing Installation Methods. Ground Water V. 26, p. 207-217.

**Skov- og Naturstyrelsen (1987):** Geofysik og råstofkortlægning, Miljøministeriet, København.

**Sørensen, K.I.S (1989):** Ellog boring. Skov- og Naturstyrelsen, Miljøministeriet, København. KORTLÆGNING-serien nr. 8, 1989.

**Sørensen, K.I.S (1990):** Kontinuert Elektrisk Profilerings. Metode dokumentation. Projekt ved Laboratoriet for Geofysik i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen, 1989.



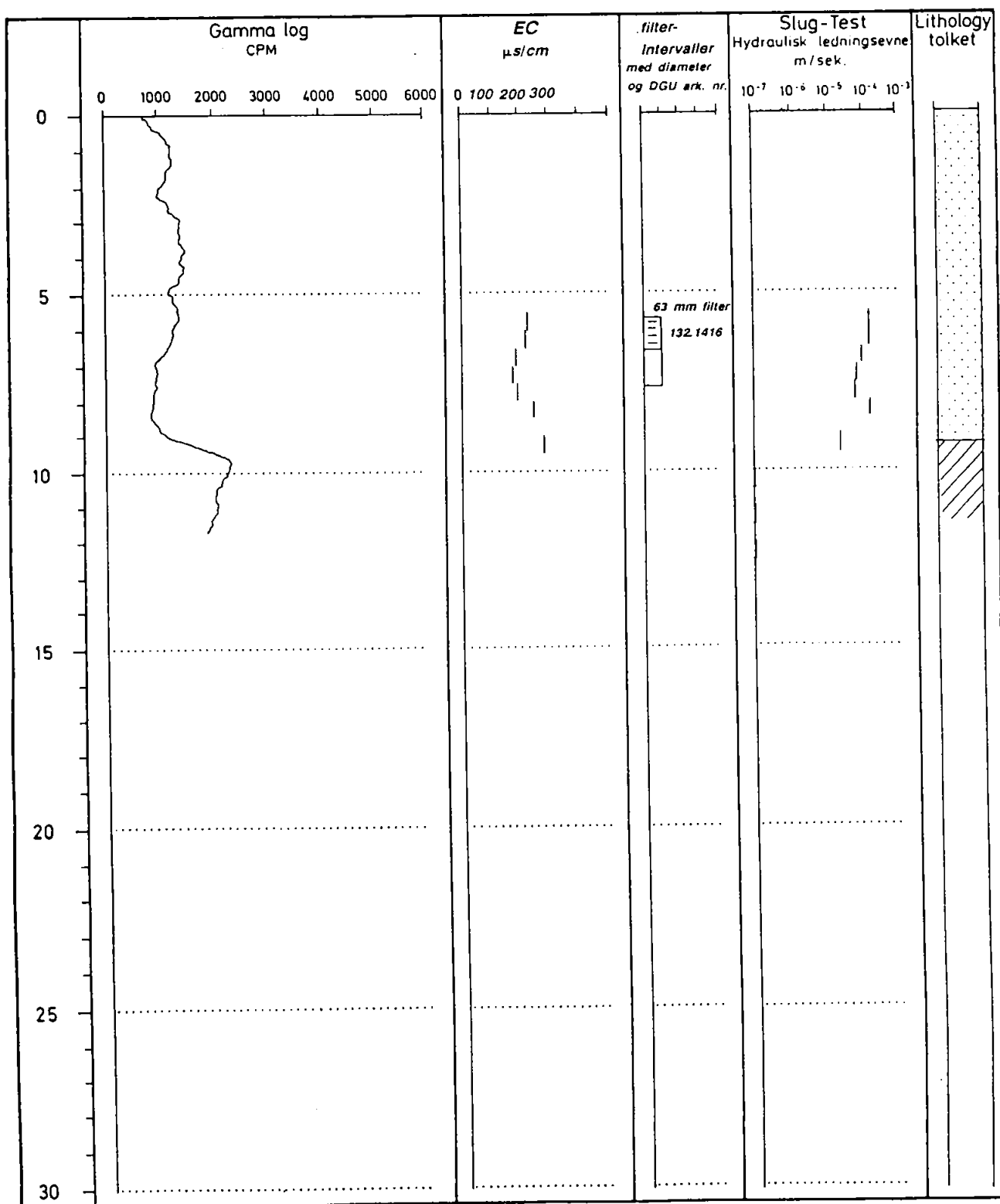


**Appendiks A1.**

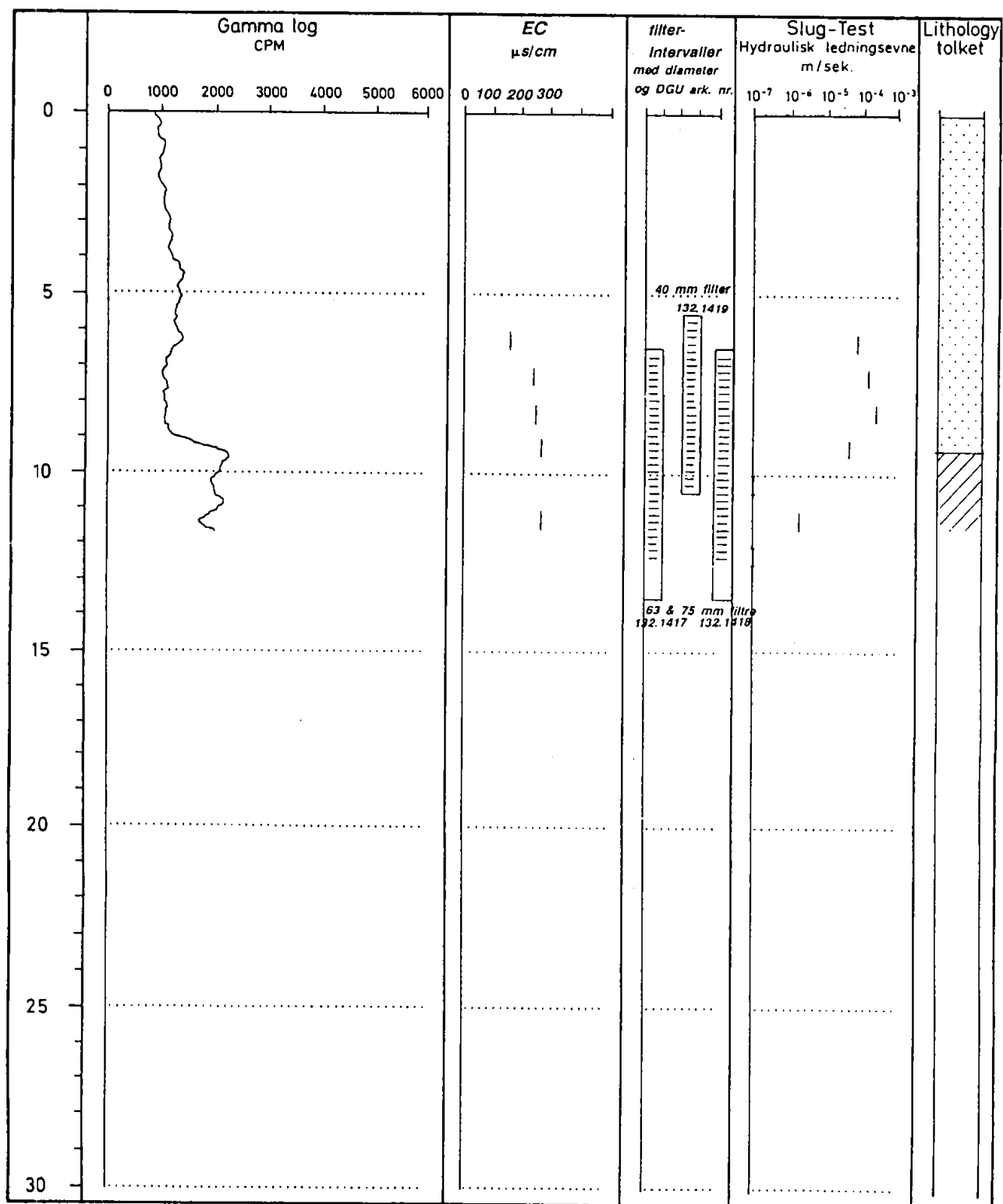
**Dataark for BOTESAM-boringerne H7-1, H7-2 og H7-3, med angivelse af filterplaceringen i gruppernes andre boringer.**



Danmarks Geologiske Undersøgelse Thoravej 8 , 2400 København NV.					PROJEKT - LOKALITET Lossepladsprojekt H7 - Vejen Injektionstøt	
R Ø R	DIAMETER: 2"	MATERIALE: jern	TOP RØR		RAMMEBORING NR. H7-1	udført 7-11-89
			m o/h terren	kote, m		
			0,31	+ 40,15		
F I L T	DIAMETER: 2"	TYPE rammefilter	LÆNGDE 0,5 m	ENDELIG PLACERING 12-12,5 m.u.f.	DGU ARK. NR. 132.1413	



Danmarks Geologiske Undersøgelse Thoravej 8, 2400 København NV.				PROJEKT - LOKALITET <i>Lossepladsprojekt H7 - Vejen Injektionstest</i>	
R Ø R	DIAMETER: 2"	MATERIALE: jern	TOP RØR		RAMMEBORING NR. <i>H7-2</i> <i>udført 8-11-89</i>
			m o/v terræn 0,31	kote, m + 40,32	
F I L T	DIAMETER: 2"	TYPE rammefilter	LÆNGDE 0,5 m	ENDELIG PLACERING 12-12,5 m.u.f.	DGU ARK. NR. 132.1414



Danmarks Geologiske Undersøgelse Thoravej 8 , 2400 København NV.				PROJEKT - LOKALITET Lossepladsprojekt H7 - Vejen Injektionstøt	
R Ø R	DIAMETER: 2"	MATERIALE: Jern	TOP RØR		RAMMEBORING NR. H7-3                      udført 9-11-89
			m af/× terræn 0,39	kole, m + 40,62	
F I L T	DIAMETER: 2"	TYPE rammefilter	LÆNGDE 0,5 m	ENDELIG PLACERING 11-11,5 m.u.t.	DGU ARK. NR. 132.1415



Data fra udførelsen af SIT-test i hhv. en snegleboring (75 mm filter) og en rammeboring (40 mm filter) fra H7-2 gruppen. K-værdierne er beregnet v.h.j.a. følgende formel:

$$K = Q_{\text{bund}} \ln (mL/D + \{1 + (mL/D)^2\}^{1/2}) / 2\pi LH$$

hvor  $Q_{\text{bund}}$  = tilvækst i bundpumpens pumpeydelse.

$m = (K_h/K_v)^{1/2}$  hvor  $K_h$  og  $K_v$  er hhv. horisontal og vertikal hydraulisk ledningsevne

$L$  = injektionsinterval

$D$  = filterdiameter

$H$  = potentialeforskel

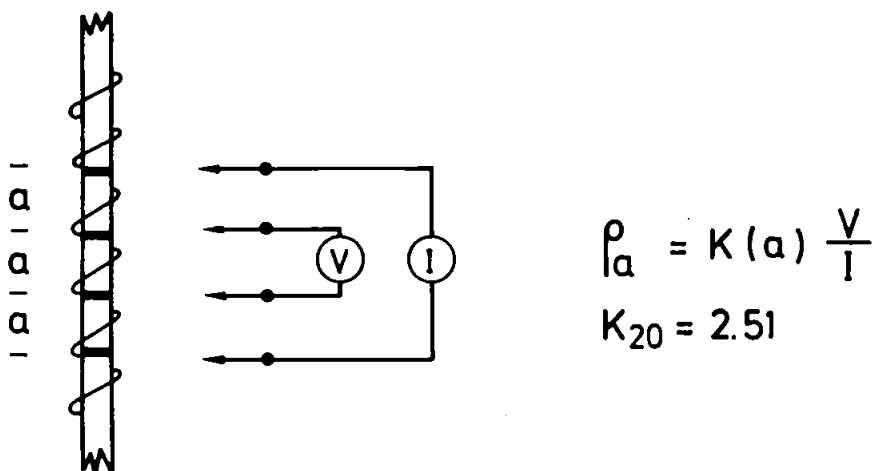
75 mm filter: Test udført 29/11-89.

$Q_{\text{bund}}$ $\text{m}^3/\text{s} \times 10^{-5}$	$H$ $\text{m}$	Injektions- interval, m.u.t.	$L$ $\text{m}$	$K$ $\text{m}/\text{s} \times 10^{-4}$
8,33	3,04	6,55 - 6,60	0,050	1,3
2,78	3,04	6,60 - 6,64	0,040	0,46
2,78	3,04	6,64 - 6,73	0,090	0,32
2,78	3,04	6,73 - 6,78	0,050	0,42
2,78	3,04	6,78 - 7,51	0,73	0,081
2,78	3,04	7,51 - 10,62	3,11	0,026
2,78	3,04	10,62 - 11,72	1,10	0,059
2,78	3,04	11,72 - 12,55	0,83	0,074
$L = \text{injektionsintervallslængde}$ $m = 2,5$ $D = 0,0620 \text{ m}$ $Q_{\text{top}} + Q_{\text{bund}} = 1 \text{ m}^3/\text{h}$				

40 mm filter: Test udført 17/1-90.

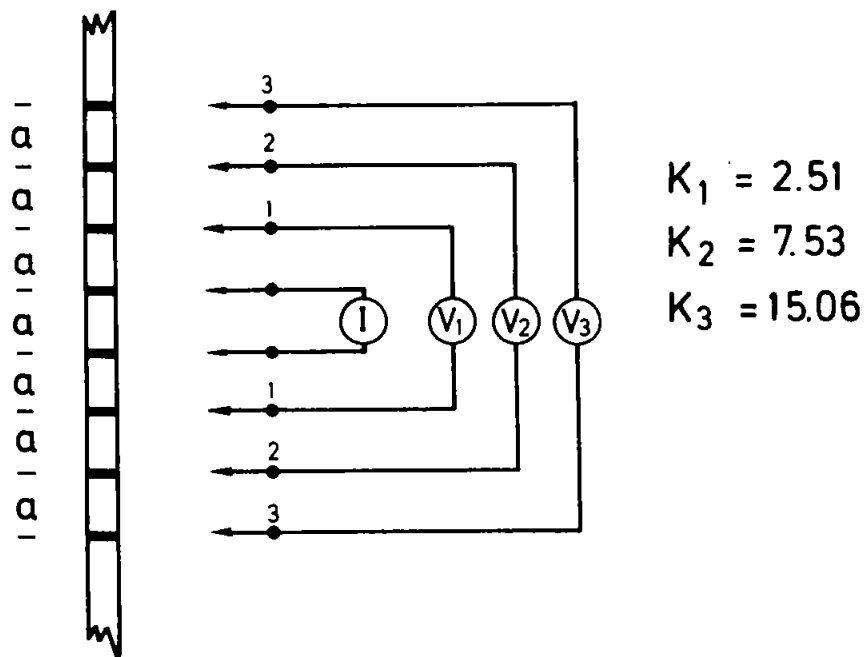
$Q_{\text{bund}}$ $\text{m}^3/\text{s} \times 10^{-5}$	$H$ $\text{m}$	Injektions- interval, m.u.t.	$L$ $\text{m}$	$K$ $\text{m}/\text{s} \times 10^{-4}$
0,97	0,08	5,50 - 6,10	0,60	1,4
1,11	0,08	6,10 - 6,68	0,58	1,7
1,11	0,08	6,68 - 6,92	0,24	3,3
1,11	0,08	6,92 - 7,42	0,50	1,9
1,11	0,08	7,42 - 7,87	0,45	2,0
1,11	0,08	7,87 - 8,09	0,22	3,5
1,11	0,08	8,09 - 8,46	0,37	2,4
1,11	0,08	8,46 - 10,50 (9,3)	0,84	1,3
$m = 2,5$ $D = 0,035 \text{ m}$ $Q_{\text{top}} + Q_{\text{bund}} = 0,315 \text{ m}^3/\text{h}$				

Målingen af den elektriske formationsmodstand foregår ved hjælp af en firepunkttopstilling. For 2"-ellog og 4"-ellog er anvendt en Wennerkonfiguration med  $a = 20$  cm, se figur A3.1.



Figur A3.1 Måleprincip ved snegleboresonder med eet elektrodesæt til en indtrængningsdybde i en Wennerkonfiguration. Den tilsyneladende formationsmodstand er for en fast geometri kun funktion af den udsendte strøm og den målte spænding. Den geometriske faktor er udregnet for  $a = 20$  cm.

For rammeellog er der tre elektrodesæt til tre indtrængningsdybder, hvor et af disse sæt er en Wennerkonfiguration med  $a = 20$  cm, se figur A3.2.



Figur A3.2 Måleprincip ved rammesonde med tre elektrodesæt til tre indtrængningsdybder. De geometriske faktorer for  $a = 20$  cm er udregnet for hver elektrodesæt.

**2"-ellog dimensioner**

Borestreng: 95 mm  
Borestamme: 67 mm  
Sneglekam: 14 mm (stigning 64 mm)  
Gennemgående  
hulhed: 32 mm  
Sonde: Wennerkonfiguration med  $a = 20$  cm.

**4"-ellog dimensioner**

Borestreng: 159 mm  
Borestamme: 127 mm  
Sneglekam: 16 mm (stigning 120 mm)  
Gennemgående  
hulhed: 95 mm  
Sonde: Wennerkonfiguration med  $a = 20$  cm.

**Rammeellog dimensioner**

Borestreng: 60 mm  
Gennemgående  
Hulhed: 50 mm  
Sonde  
se figur A3.2

## UDGIVNE RAPPORTER

I forbindelse med LOSSEPLADSPROJEKTET er der med denne rapport ialt udgivet følgende rapporter:

### HYDROGEOLOGI

EN REGIONAL GEOLOGISK MODEL FOR OMRÅDET VED VEJEN, Institut for Teknisk Geologi, DTH (Rapport H0-1, 20 sider), december 1987. ISBN 87-503-7079-0.

SEVA: PC-DATABASE FOR GEOLOGI, HYDROLOGI OG VANDKVALITET, Institut for Teknisk Geologi, DTH (Rapport H0-2, 46 sider), december 1990, ISBN 87-503-8915-7.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: LAGFØLGEBORINGER, Geoteknisk Institut (Rapport H1, 122 sider), juli 1990, ISBN 87-503-8183-0.

VEJEN INJEKTIONSFORSØG: HYDROGEOLOGI, Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Danmarks Geologiske Undersøgelse m. fl. (Rapport H2, 217 sider), juni 1991, ISBN 87-503-9211-5.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: RESERVOIRFORHOLD OG FORURENINGSUDBREDELSE BESTEMT VED BOTESAM-METODEN, Danmarks Geologiske Undersøgelse (Rapport H5, 125 sider), oktober 1990, ISBN 87-503-8736-7.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: POTENTIALEFORHOLD, Geoteknisk Institut (Rapport H6, 121 sider), maj 1991, ISBN 87-503-9110-0.

BOTESAM OG SNEGLEBORING: SAMMENLIGNENDE UNDERSØGELSER, Laboratoriet for Geofysik (Århus Universitet), Danmarks Geologiske Undersøgelse og Lossepladsprojektets sekretariat (Rapport H7, 47 sider), oktober 1991, ISBN 87-503-9352-9.

EVALUERING OG UDVIKLING AF METODER TIL PRØVETAGNING OG FELTANALYSE AF ANOXISK GRUNDVAND, Institut for Teknisk Geologi, DTH (Rapport H8, 82 sider), oktober 1990, ISBN 87-503-8738-3.

HYDRAULIK OG STOFTRANSPORT I EN OPSPRÆKKET KALKBJERGART, Danmarks Geologiske Undersøgelse (Rapport H9, 70 sider), maj 1991, ISBN 87-503-9137-2.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: GEOLOGISKE FORHOLD, Danmarks Geologiske Undersøgelse (Rapport H10, 100 sider), december 1989, ISBN 87-503-8182-2.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: FYSISK-KEMISK SEDIMENTKARAKTERISERING, Institut for Geologi og Geoteknik (Rapport H11, 55 sider), oktober 1991, ISBN 87-503-9354-5.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: UORGANISK GRUNDVANDSKVALITET, Danmarks Geologiske Undersøgelse (Rapport H12/13, 82 sider), december 1990, ISBN 87-503-8916-5.

### FORURENINGSKEMI

AMTSKOMMUNALE UNDERSØGELSER AF GRUNDVANDSFORURENING VED GAMLE LOSSEPLADSER, Laboratoriet for teknisk Hygiejne (Rapport P0-1, 72 sider), december 1990, ISBN 87-503-8918-1.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: ORGANISK GRUNDVANDSKVALITET OG ANALY-

SEUDVIKLING, Vandkvalitetsinstituttet (Rapport P1, 57 sider), maj 1991, ISBN 87-503-9093-7.

ØKOTOKSIKOLOGISKE METODER TIL UNDERSØGELSE AF FORURENET GRUNDVAND - LITTERATURUNDERSØGELSE, Vandkvalitetsinstituttet (Rapport P2-1, 56 sider), maj 1988, ISBN 87-503-7323-4.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: PERKOLATUDSIVNING, Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DTH (Rapport P3, 180 sider), maj 1991, ISBN 87-503-9094-5.

SORPTION AF ORGANISKE STOFFER, Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Danmarks Tekniske Højskole (Rapport P5-1, 85 sider), juli 1988, ISBN 87-503-7322-6.

SORPTION AF ORGANISKE STOFFER I AKVIFERER: LABORATORIEUNDERSØGELSER, Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DTH (Rapport P5-2, 106 sider), juli 1990, ISBN 87-503-8184-9.

GRUNDVANDZONENS MIKROBIOLOGI, Afdelingen for Generel Mikrobiologi, Københavns Universitet (Rapport P6-1, 80 sider), januar 1988, ISBN 87-503-7118-5.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: GRUNDVANDSZONENS MIKROBIOLOGI, Afdelingen for Generel Mikrobiologi, Københavns Universitet, (Rapport P6-2, 90 sider), december 1989, ISBN 87-503-8183-0.

#### MATEMATISK MODELLERING

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: MATEMATISK MODELLERING, Institutet for Strømningsmekanik og Vandbygning/Dansk Hydraulisk Institut (Rapport M1/2, 160 sider), februar 1991, ISBN 87-503-8972-6.

OPERATIONALISERING AF EN TRE-DIMENSIONAL STOFTRANSPORTMODEL, Dansk Hydraulisk Institut (Rapport M4/7, 88 sider), februar 1991, ISBN 87-505-8971-8.

#### AFVÆRGEFORANSTALTNINGER

OVERSIGT OVER DANSKE OG UDENLANDSKE AFVÆRGEFORANSTALTNINGER, Vandkvalitetsinstituttet (Rapport R0-1, 82 sider), december 1990, ISBN 87-503-8917-3.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: NEDBRYDNING AF MCPP I GRUNDVANDSZONEN, Laboratoriet for teknisk Hygiejne (Rapport R2-2, 63 sider), juni 1991, ISBN 87-503-9213-1.

AFVÆRGE PUMPNING VED SEPARATIONSPUMPNING - FASE 1: DEMONSTRATIONSMODEL, Danmarks Geologiske Undersøgelse (Rapport R3-1, 67 sider), december 1990; ISBN 87-503-8920-3.

UNDERSØGELSER VED VEJEN LOSSEPLADS: TRE-DIMENSIONAL MODELLERING AF ALTERNATIVE AFVÆRGEFORANSTALTNINGER, Dansk Hydraulisk Institut (Rapport R4, 45 sider), maj 1991, ISBN 87-503-9095-3.



## AFVÆRGEUDVIKLINGSRAPPORTER

AFVÆRGE PUMPNING VED SEPARATIONSPUMPNING - FASE 2 & 3: FELTFORSØG, Danmarks Geologiske Undersøgelse/Geoteknisk Institut (Rapport A3, 120 sider), maj 1991. ISBN 87-503-9111-9.

## UDREDNINGSRAPPORTER

NEDBRYDELIGHED AF MILJØFREMMEDE ORGANISKE STOFFER, Lossepladsprojektets sekretariat, DTH (Rapport U1, 105 sider), oktober 1987. ISBN 87-503-7017-0.

FORURENEDE INDUSTRIGRUNDE, Lossepladsprojektets sekretariat, DTH (Rapport U2, 130 sider), januar 1988, ISBN 87-503-7081-2.

GRUNDVANDSPRØVETAGNING OG FELTMÅLING, Lossepladsprojektets sekretariat, DTH, (Rapport U3, 222 sider), april 1989, ISBN 87-503-7817-1.

FORURENEDE GASVÆRKSGRUNDE, Lossepladsprojektets sekretariat, DTH, (Rapport U4, 221 sider), november 1989, ISBN 87-7491-315-8.

ANVENDELSE AF PHOTOIONISATIONSDETEKTOR VED UNDERSØGELSE AF JORDFORURENING, Lossepladsprojektets sekretariat, DTH, (Rapport U5, 52 sider), december 1989, ISBN 87-503-8173-3.

KILDER TIL INDUSTRIKORTLÆGNING, Geokon A/S, (Rapport U6, 140 sider), december 1989, ISBN 87-503-8174-1.

SKRYDSTRUP SPECIALDEPOT - Erfaringer fra undersøgelser og afværgeforanstaltninger, Lossepladsprojektets sekretariat, DTH, (Rapport U7, 60 sider), december 1989, ISBN 87-503-8174-1.

JORDPRØVETAGNING PÅ FORURENEDE GRUNDE - Strategier, metoder og håndtering, Lossepladsprojektets sekretariat, DTH (Rapport U8, 110 sider), april 1991, ISBN 87-503-9043-0.